



P04-0428-0045-NZ

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 62 579 A 1**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 03 F 7/20**  
G 03 B 3/00  
G 02 B 19/00  
G 02 B 1/11

21 Aktenzeichen: 100 62 579.7  
22 Anmeldetag: 15. 12. 2000  
43 Offenlegungstag: 21. 6. 2001

DE 100 62 579 A 1

30 Unionspriorität:

99 355879	15. 12. 1999	JP
00 157332	26. 05. 2000	JP
00-230349	31. 07. 2000	JP

71 Anmelder:

Nikon Corp., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
80538 München

72 Erfinder:

Tanitsu, Osamu, Tokio/Tokyo, JP; Kudo, Yuji,  
Tokio/Tokyo, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Optischer Integrierer, optische Beleuchtungseinrichtung, Photolithographie-Belichtungseinrichtung, und Beobachtungseinrichtung

57 Die vorliegende Erfindung ist darauf gerichtet, einen optischen Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps zur Verfügung zu stellen, der eine gleichförmige Leuchtdichtevertellung im wesentlichen über das gesamte, von ihm erzeugte Beleuchtungsgebiet zur Verfügung stellen kann, selbst wenn die Größe jeder Mikrolinse, die bei dem optischen Integrierer vorhanden ist, kleiner ausgebildet ist, um so eine große Anzahl an Wellenfrontunterteilungen einzustellen. Der optische Integrierer gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps, der eine Anzahl an zweidimensional angeordneten Mikrolinsen aufweist, um eine Anzahl an Lichtquellen durch Unterteilung einer Wellenfront eines einfallenden Lichtstrahls auszubilden; wobei jede Mikrolinse eine rechteckige Eintrittsoberfläche und eine rechteckige Austrittsoberfläche aufweist, und zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

$$(d_2/2)(D_2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

wobei f die Brennweite jeder Mikrolinse ist, d<sub>1</sub> die Länge einer Seite der Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse, d<sub>2</sub> die Länge der anderen Seite der Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse, D<sub>1</sub> die Länge der Seite der Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse entsprechend der einen Seite der Eintrittsoberfläche, D<sub>2</sub> die Länge der Seite der Austrittsoberfläche in jeder Mikrolinse entsprechend der anderen Seite der Eintrittsoberfläche, und λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls.

DE 100 62 579 A 1

Best Available Copy

Die vorliegende Erfindung betrifft einen optischen Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps; eine optische Beleuchtungseinrichtung, welche einen derartigen optischen Integrierer enthält; und eine optische Beleuchtungseinrichtung, die für eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung, eine Beobachtungseinrichtung (Mikroskope) und dergleichen geeignet ist, und eine derartige optische Beleuchtungseinrichtung verwendet.

Bei einer typischen Photolithographie-Belichtungseinrichtung zur Herstellung von Mikrogeräten, beispielsweise Halbleitergeräten, Bildaufnahmegegeräten, Flüssigkristallanzeigegeräten, und Dünnfilm-Magnetköpfen, trifft der von einer Lichtquelle ausgesandte Lichtfluß auf eine Mikrofliegenaugenlinse auf, und wird eine sekundäre Lichtquelle, die aus einer Anzahl an Lichtquellen besteht, auf dessen bildseitiger Brennebene ausgebildet. Die Lichtstrahlen von der sekundären Lichtquelle werden zum Auftreffen auf eine Kondensorlinse veranlaßt, nachdem sie durch eine Aperturblende begrenzt wurden, die in der Nähe der bildseitigen Brennebene der Mikrofliegenaugenlinse angeordnet ist.

Die von der Kondensorlinse gesammelten Lichtstrahlen überlagern einander und beleuchten eine Maske, die ein vorbestimmtes Muster aufweist. Das durch das Muster der Maske durchgelassene Licht erzeugt ein Bild auf einem lichtempfindlichen Substrat, über ein optisches Projektionssystem. Daher wird ein Maskenmuster auf das lichtempfindliche Substrat projiziert (übertragen). Das in der Maske vorgesehene Muster ist hoch integriert. Um dieses feine Muster exakt auf ein lichtempfindliches Substrat zu übertragen, ist es daher unbedingt erforderlich, daß eine gleichmäßige Leuchtdichte-Verteilung auf dem lichtempfindlichen Substrat erhalten wird.

Die Mikrofliegenaugenlinse stellt einen optischen Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps dar, der aus einer Anzahl an Mikrolinsen besteht, die dicht gepackt matrixförmig angeordnet sind. Üblicherweise wird die Mikrofliegenaugenlinse dadurch hergestellt, daß beispielsweise eine planparallele Glasplatte so geätzt wird, daß eine Mikrolinsengruppe ausgebildet wird. Hierbei ist jede Mikrolinse, die die Mikrofliegenaugenlinse bildet, kleiner als jedes Linsenelement, welches eine Fliegenaugenlinse bildet.

Wie voranstehend geschildert ist es unbedingt erforderlich, wenn eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung ein feines Muster auf ein lichtempfindliches Substrat übertragen soll, daß eine gleichförmige Leuchtdichte-Verteilung auf der Maske und/oder auf dem lichtempfindlichen Substrat vorhanden ist. Um Ungleichmäßigkeiten der Leuchtdichte zu verringern, ist es daher anzustreben, die Anzahl an Mikrolinsen (Mikrooptikelementen) zu erhöhen, welche die Mikrofliegenaugenlinse (Mikrofliegenauge-Optikteil) bilden, also die Anzahl an Unterteilungen der Wellenfront zu erhöhen.

Wenn eine Mikrofliegenaugenlinse durch Ätzen und dergleichen hergestellt wird, ist es allerdings schwierig, die Glasplatte tief zu ätzen, und wird die Herstellung einfacher, wenn die Größe jeder Mikrolinse geringer ist. Die einfache Verringerung der Größe jeder Mikrolinse ist jedoch in der Hinsicht nachteilig, daß die Leuchtdichte infolge der Beugungsgrenze in Bezug auf die Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse in Randbereichen eines Beleuchtungsbereiches abnimmt, der auf einer Oberfläche ausgebildet wird, die beleuchtet werden soll, und optisch konjugiert zur Eintrittsoberfläche ist.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht in der Bereitstellung eines optischen Integrierers des Wellenfrontunterteilungstyps, welcher eine gleichmäßige Leuchtdichte-Verteilung im wesentlichen über dem gesamten Beleuchtungsbereich erzielen kann, der dadurch ausgebildet wird, selbst wenn die Größe jeder Mikrolinse kleiner gewählt wird, um eine große Anzahl an Wellenfrontunterteilungen zur Verfügung zu stellen; besteht in der Bereitstellung einer optischen Beleuchtungseinrichtung, welche einen derartigen optischen Integrierer umfaßt; und in der Bereitstellung einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung und einer Beobachtungseinrichtung, welche eine derartige optische Beleuchtungseinrichtung aufweist.

Der optische Integrierer gemäß einer ersten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist ein optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps, bei welchem eine Anzahl von Mikrolinsen (Mikrooptikelementen) zweidimensional angeordnet ist, zur Ausbildung einer Anzahl an Lichtquellen durch Unterteilung einer Wellenfront eines einfallenden Lichtflusses; wobei jede Mikrolinse eine rechteckige Eintrittsoberfläche aufweist, und eine rechteckige Austrittsoberfläche, und zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

$$(d_2/2)(D_2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

wobei  $f$  die Brennweite jeder Mikrolinse ist,  $d_1$  die Länge einer Seite der Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse,  $d_2$  die Länge der anderen Seite der Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse,  $D_1$  die Länge der Seite der Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse entsprechend der einen Seite der Eintrittsoberfläche,  $D_2$  die Länge der Seite der Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse entsprechend der anderen Seite der Eintrittsoberfläche, und  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtflusses.

Der optische Integrierer kann so ausgebildet sein, daß die Länge  $d_1$  der einen Seite der Eintrittsoberfläche länger als die Länge  $d_2$  der anderen Seite der Eintrittsoberfläche ist, und folgende Bedingung erfüllt ist:

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

Der optische Integrierer gemäß einer zweiten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist ein optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps, bei welchem eine Anzahl an Mikrolinsen (Mikrooptikelementen) zweidimensional angeordnet ist, zur Ausbildung einer Anzahl an Lichtquellen durch Unterteilung einer Wellenfront eines einfallenden Lichtflusses; wobei jede Mikrolinse eine rechteckige Eintrittsoberfläche und eine kreisförmige oder regelmäßig sechseckige Austrittsoberfläche aufweist, und zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

$$(d_2/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

wobei  $f$  die Brennweite jeder Mikrolinse ist,  $d_1$  die Länge einer Seite der Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse,  $d_2$  die Länge der anderen Seite der Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse,  $D$  der Durchmesser der kreisförmigen Austrittsoberfläche oder der Durchmesser eines Kreises, welcher die regelmäßig sechseckige Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse umschreibt, und  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtflusses.

Der optische Integrierer kann so ausgebildet sein, daß die Länge  $d_1$  der einen Seite der Eintrittsoberfläche größer als die Länge  $d_2$  der anderen Seite der Eintrittsoberfläche ist, und folgende Bedingung erfüllt ist:

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

Der optische Integrierer gemäß einer dritten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist ein optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps, bei welchem eine Anzahl an Mikrolinsen (Mikrooptikelementen) zweidimensional angeordnet ist, zur Ausbildung einer Anzahl an Lichtquellen durch Unterteilung einer Wellenfront eines einfallenden Lichtstrahls; wobei jede Mikrolinse eine kreisförmige Eintrittsoberfläche mit einem Durchmesser  $d$  oder eine regelmäßig sechseckige Eintrittsoberfläche aufweist, die von einem Kreis mit einem Durchmesser von  $d$  umschlossen wird, und folgende Bedingung erfüllt:

$$(d/2)2/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

wobei  $f$  die Brennweite jeder Mikrolinse ist, und  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls.

Die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß einer vierten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer Oberfläche, die mit einem Lichtstrahl von einer Lichtquelle beleuchtet werden soll, wobei die optische Beleuchtungseinrichtung den optischen Integrierer aufweist, der in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zur Ausbildung einer Anzahl an Lichtquellen entsprechend einem Lichtstrahl von der Lichtquelle; und ein Lichtführungsoptiksystem, das in einem optischen Weg zwischen dem optischen Integrierer und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, und zum Führen der Lichtstrahlen von einer Anzahl an Lichtquellen, die durch den optischen Integrierer gebildet werden, zu der zu beleuchtenden Oberfläche dient.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann das Lichtführungsoptiksystem ein optisches Kondensorsystem aufweisen, das in dem optischen Weg zwischen dem optischen Integrierer und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, und zum Sammeln von Lichtstrahlen von einer Anzahl an Lichtquellen dient, die durch den optischen Integrierer gebildet werden, um durch Überlagerung einen Beleuchtungsbereich auszubilden; ein Bilderzeugungsoptiksystem, das in einem optischen Weg zwischen dem optischen Kondensorsystem und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zur Ausbildung eines Bildes des Beleuchtungsbereiches in der Nähe der zu beleuchtenden Oberfläche entsprechend dem Lichtstrahl von dem Beleuchtungsbereich; und eine Aperturblende, die in einem optischen Weg des Bilderzeugungsoptiksystems an einem Ort angeordnet ist, der im wesentlichen optisch konjugiert zu einem Ort ist, an welchem die Anzahl an Lichtquellen ausgebildet wird, zum Blockieren eines unnötigen Lichtstrahl.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann jede Mikrolinse (Mikrooptikelement) in dem optischen Integrierer zumindest eine brechende Oberfläche aufweisen, die eine asphärische Form aufweist, die symmetrisch zu einer Achse parallel zu einer optischen Bezugsachse ist, um eine im wesentlichen gleichförmige Leuchtdichte auf der zu beleuchtenden Oberfläche zu erzielen. Wenn eine asphärische Oberfläche bei jedem Mikrolinsenelement in dem optischen Integrierer selbst vorgesehen wird, dann nimmt die Anzahl an Parametern für die optische Konstruktion zu, wodurch es einfacher wird, eine gewünschte konstruktive Lösung zu erhalten, wodurch der Freiheitsgrad bei der Konstruktion erhöht werden kann, insbesondere im Hinblick auf die Korrektur der Aberration. Daher wird bei dem optischen Integrierer nicht nur das Auftreten einer sphärischen Aberration in vorteilhafter Weise unterdrückt, sondern wird auch im wesentlichen die Sinusbedingung erfüllt, wodurch in vorteilhafter Weise das Auftreten eines Komas unterdrückt werden kann. Daher kann das Auftreten einer ungleichförmigen Beleuchtung in vorteilhafter Weise verhindert werden, da der optische Integrierer als Vorrichtung zur Ausbildung zahlreicher Lichtquellen dient, wodurch gleichzeitig eine gleichmäßige Beleuchtung und eine Gleichförmigkeit der numerischen Apertur sichergestellt werden können.

Bei der vierten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung können die voranstehend geschilderten Auswirkungen erzielt werden, wenn jede Mikrolinse des optischen Integrierers zumindest eine asphärische, brechende Oberfläche aufweist, selbst wenn die Bedingung in Bezug auf die Eintrittsoberfläche und die Austrittsoberfläche gemäß der ersten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung nicht erfüllt ist. Die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß der vierten Zielrichtung der Erfindung soll nämlich dazu dienen, die gleichförmige Beleuchtung der zu beleuchtenden Oberfläche und die Gleichförmigkeit der numerischen Apertur gleichzeitig zu erzielen, und kann eine Lichtquellenvorrichtung zum Liefern von Beleuchtungslicht aufweisen, eine Vorrichtung zur Erzeugung mehrerer Lichtquellen zum Ausbilden einer Anzahl an Lichtquellen entsprechend einem Lichtstrahl von der Lichtquellenvorrichtung, und ein optisches Kondensorsystem zum Führen der Lichtstrahlen von den mehreren Lichtquellen zu der zu beleuchtenden Oberfläche oder zu einer Oberfläche, die zur beleuchtenden Oberfläche optisch konjugiert ist; wobei die Vorrichtung zur Ausbildung mehrerer Lichtquellen einen optischen Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps aufweist, der eine Anzahl an Mikrolinsenelementen aufweist, und jedes Mikrolinsenelement in dem optischen Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps zumindest eine brechende Oberfläche aufweist, die mit asphärischer Form hergestellt ist, und symmetrisch zu einer Achse parallel zu einer optischen Bezugsachse ist, um eine im wesentlichen gleichförmige Beleuchtung auf der zu beleuchtenden Oberfläche zu erzielen.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer eine Anzahl optischer Vereinigungssysteme aufweisen, deren optische Achsen jeweils parallel zur optischen Bezugsachse verlaufen, wobei zumindest eine brechende Oberfläche, die asphärisch ausgebildet ist, als vorbestimmte asphärische Oberfläche ausgebildet ist, um in vorteilhafter Weise das Auftreten eines Komas in den optischen Vereinigungssystemen zu unterdrücken.

Das optische Beleuchtungssystem kann so ausgebildet sein, daß es ein Filter aufweist, das eine vorbestimmte optische Transmissionsverteilung aufweist, und in der Nähe des optischen Integrierers an dessen Eintrittsseite angeordnet ist, um eine Ungleichförmigkeit der Beleuchtung auf der zu beleuchtenden Oberfläche zu korrigieren; sowie ein Positionierungssystem, die mit dem optischen Integrierer und dem Filter verbunden ist, um den optischen Integrierer und das Filter in Bezug aufeinander zu positionieren. In diesem Fall ist es vorzuziehen, daß das Positionierungssystem eine Ausrichtungsmarkierung aufweist, die bei dem optischen Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps vorgesehen ist, sowie eine bei dem Filter vorgesehene Ausrichtungsmarkierung.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann so ausgebildet sein, daß eine Irisblende, die so ausgebildet ist, daß die Größe ihres Öffnungsabschnitts geändert werden kann, in der Nähe der Austrittsoberfläche des optischen Integrierers angeordnet ist.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer zumindest zwei optische Elementbündel aufweisen, die entlang der optischen Bezugsachse mit einem Abstand dazwischen angeordnet sind, wobei zumindest zwei der optischen Elementbündel die asphärische optische Oberfläche aufweisen.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung können zumindest zwei der optischen Elementbündel eine Anzahl an optischen Vereinigungssystemen aufweisen, die jeweils zumindest zwei optische Mikroelemente aufweisen, die einander entsprechend entlang der Achse angeordnet sind, wobei sämtlichen optischen Oberflächen in den optischen Vereinigungssystemen als asphärische Oberflächen ausgebildet sind, deren Eigenschaften identisch sind.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann ein Positionierungssystem aufweisen, die mit zumindest zweien der optischen Elementbündel verbunden ist, um zumindest zwei der optischen Elementbündel in Bezug aufeinander zu positionieren. In diesem Fall ist es vorzuziehen, daß bei dem Positionierungssystem jeweils Ausrichtungsmarkierungen bei zumindest zweien der optischen Elementbündel vorgesehen sind. Vorzugsweise ist ein Filter mit einer vorbestimmten optischen Transmissionsverteilung zur Korrektur einer Ungleichförmigkeit der Beleuchtung auf der zu beleuchtenden Oberfläche in der Nähe des optischen Integrierers des Wellenfrontunterteilungstyps an dessen Eintrittsseite angeordnet, und ist bei dem Positionierungssystem eine Ausrichtungsmarkierung bei dem Filter vorgesehen, um zumindest zwei der optischen Elementbündel und das Filter in Bezug aufeinander zu positionieren.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer 1000 oder mehr Achsen aufweisen.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann eine Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung aufweisen, die in dem optischen Weg zwischen dem optischen Integrierer und der Lichtquellenvorrichtung an einem Ort oder in dessen Nähe angeordnet ist, der zur beleuchtenden Oberfläche konjugiert ist, um das Lichtquellenbild zu vergrößern. Die Verwendung einer Anordnung, bei welcher eine Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung vorgesehen ist, verringert Beschädigungen optischer Bauteile in der optischen Beleuchtungseinrichtung.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der Divergenzwinkel des Lichtstrahls infolge der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung so festgelegt werden, daß keine Verluste an Beleuchtungslicht in dem optischen Integrierer auftreten.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann so ausgebildet sein, daß der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweist, die zweidimensional angeordnet sind, und jeweils das Lichtquellenbild ausbilden; wobei die Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung das Lichtquellenbild vergrößert, das durch die Linsenoberfläche ausgebildet wird; und der Divergenzwinkel der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung so eingestellt ist, daß das vergrößerte Lichtquellenbild kleiner ist als die Linsenoberfläche.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweisen, die zweidimensional angeordnet sind, und jeweils ein Lichtquellenbild ausbilden.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann so ausgebildet sein, daß eine im wesentlichen gleichförmige Leuchtdichteverteilung im Nahfeld der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung ausgebildet wird.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann so ausgebildet sein, daß nur ein Muster im Fernfeld der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung ausgebildet wird.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann das Fernfeldmuster der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung kreisförmig, elliptisch, oder mehreckig ausgebildet sein.

An einer Pupille der optischen Beleuchtungseinrichtung kann eine sekundäre Lichtquelle vorgesehen sein, die eine Lichtintensitätsverteilung aufweist, bei welcher die Lichtintensität im Pupillenzentrumsbereich einschließlich einer optischen Achse in einem Bereich auf der Pupille niedriger eingestellt ist als in einem Bereich, welcher den Pupillenzentrumsbereich umgibt.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann weiterhin ein optisches Beugungselement aufweisen, das zwischen der Lichtquelle und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um die Form der sekundären Lichtquelle zu kontrollieren, die an der Pupille der optischen Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann eine Blockiervorrichtung für Licht nullter Ordnung oder dergleichen aufweisen, die zwischen dem optischen Beugungselement zum Kontrollieren der Form der sekundären Lichtquelle und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um Licht nullter Ordnung von dem optischen Beugungselement abzublocken, um so die Form der sekundären Lichtquelle zu kontrollieren.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweisen, die zweidimensional angeordnet sind, und ein eintrittsseitiges Abdeckglas, das auf der Eintrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, wobei das eintrittsseitige Abdeckglas mit der Blockiervorrichtung für Licht nullter Ordnung versehen ist.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann die Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung ein optisches Beugungselement oder einen Diffusor aufweisen.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann so ausgebildet sein, daß ein Reflexionen verhindernder Film in Bezug auf die Wellenlänge des Beleuchtungslichts auf einer Oberfläche des optischen Beugungselements oder des Diffusors angeordnet ist.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweisen, die

zweidimensional angeordnet, und ein austrittsseitiges Abdeckglas, das an der Austrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, wobei das austrittsseitige Abdeckglas mit einem Lichtabschirmteil versehen ist, um Licht zu blockieren, das durch einen Bereich hindurchgeht, der von den mehreren Linsenoberflächen verschieden ist, und zwar zur beleuchtenden Oberfläche.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann eine Mikrofliegenaugenlinse aufweisen, die auf dem optischen Weg zwischen der Lichtquellenvorrichtung und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, und ein Substrat umfaßt, das eine Oberfläche aufweist, die mit mehreren Linsenoberflächen versehen ist, wobei die Linsenoberflächen der Mikrofliegenaugenlinse mit einem Reflexionsverhinderungsfilm in Bezug auf das Beleuchtungslicht versehen sind.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann eine Leuchtdichtekorrektureinrichtung aufweisen, die zwischen der Lichtquellenvorrichtung und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um die jeweiligen Intensitätsverteilungen Fourier-transformierter Bilder der mehreren Lichtquellenbilder unabhängig voneinander zu kontrollieren.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweisen, die zweidimensional angeordnet sind, ein eintrittsseitiges Abdeckglas, das an der Eintrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, sowie ein austrittsseitiges Abdeckglas, das an der Austrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, wobei die Leuchtdichteverteilungskorrekturvorrichtung auf dem optischen Weg zwischen dem eintrittsseitigen Abdeckglas und dem austrittsseitigen Abdeckglas angeordnet ist.

Die optische Beleuchtungseinrichtung kann einen Beleuchtungsbereich auf der zu beleuchtenden Oberfläche ausbilden, wobei der Beleuchtungsbereich eine Form hat, deren Länge in einer vorbestimmten Richtung sich von jener in Richtung orthogonal zur vorbestimmten Richtung unterscheidet.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der Reflexionsverhinderungsfilm zumindest ein Bestandteil aufweisen, das aus folgenden Substanzen ausgewählt ist:

Aluminiumfluorid; Bariumfluorid; Calciumfluorid; Cerfluorid; Cäsiumfluorid; Erbiumfluorid; Gadoliniumfluorid; Hafniumfluorid; Lanthanfluorid; Lithiumfluorid; Magnesiumfluorid; Natriumfluorid; Chryolit; Chiolit; Neodymfluorid; Bleifluorid; Scandiumfluorid; Strontiumfluorid; Terbiumfluorid; Thoriumfluorid; Yttriumfluorid; Ytterbiumfluorid; Samariumfluorid; Dysprosiumfluorid; Praseodymfluorid; Europiumfluorid; Holmiumfluorid; Wismuttrifluorid; ein Fluorharz, das zumindest ein Material enthält, das aus folgender Gruppe ausgewählt ist: Polytetrafluorethylen, Polychlorotrifluorethylen, Polyvinylfluorid, fluoriertes Ethylenpropylenharz, Polyvinylidenfluorid, und Polyacetal; Aluminiumoxid; Siliziumoxid; Germaniumoxid; Zirkoniumoxid; Titanoxid; Tantaloxid; Nioboxid; Hafniumoxid; Ceroxid; Magnesiumoxid; Neodymoxid; Gadoliniumoxid; Thoriumoxid; Yttriumoxid; Scandiumoxid; Lanthanoxid; Praseodymoxid; Zinkoxid; Bleioxid; eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Siliziumoxiden ausgewählt sind; eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe der Hafniumoxide ausgewählt ist; und eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann die Lichtquelle Beleuchtungslicht mit einer Wellenlänge von 200 nm oder kürzer liefern.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann das optische Beugungselement oder die Mikrofliegenaugenlinse Silikatglas aufweisen, das mit Fluor dotiert ist.

Die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß einer fünften Zielrichtung der vorliegenden Erfindung stellt eine optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer zu beleuchtenden Oberfläche mit einem Lichtstrahl von einer Lichtquelle dar, wobei die Einrichtung mehrere optische Elemente aufweist, die in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet sind, wobei zumindest eines der optischen Elemente eine Positionierunterstruktur aufweist, die in dem zumindest einen optischen Element vorgesehen ist, um optisch das zumindest eine optische Element zu positionieren.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann die Positionierunterstruktur außerhalb des optischen Weges zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet sein.

Die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß einer sechsten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung stellt eine optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer zu beleuchtenden Oberfläche mit Beleuchtungslicht von einer Lichtquelle dar, wobei die Einrichtung eine Mikrofliegenaugenlinse aufweist, die in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, und mit einem Substrat versehen ist, das eine Oberfläche aufweist, bei welcher mehrere Linsenoberflächen vorgesehen sind; wobei ein optisches Kondensorsystem vorgesehen ist, das auf dem optischen Weg zwischen der Mikrofliegenaugenlinse und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, um den Lichtstrahl von der Mikrofliegenaugenlinse zu der zu beleuchtenden Oberfläche zu führen, oder zu einer in Bezug auf die zu beleuchtenden Oberfläche optisch konjugierten Oberfläche, wobei die Linsenoberflächen der Mikrofliegenaugenlinse mit einem Reflexionsverhinderungsfilm in Bezug auf das Beleuchtungslicht versehen sind. Wenn der Reflexionsverhinderungsfilm vorgesehen ist, kann der Wirkungsgrad der Beleuchtung der zu beleuchtenden Oberfläche verbessert werden.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der Reflexionsverhinderungsfilm zumindest ein Bestandteil aufweisen, welches ausgewählt ist aus: Aluminiumfluorid; Bariumfluorid; Calciumfluorid; Cerfluorid; Cäsiumfluorid; Erbiumfluorid; Gadoliniumfluorid; Hafniumfluorid; Lanthanfluorid; Lithiumfluorid; Magnesiumfluorid; Natriumfluorid; Chryolit; Chiolit; Neodymfluorid; Bleifluorid; Scandiumfluorid; Strontiumfluorid; Terbiumfluorid; Thoriumfluorid; Yttriumfluorid; Ytterbiumfluorid; Samariumfluorid; Dysprosiumfluorid; Praseodymfluorid; Europiumfluorid; Holmiumfluorid; Wismuttrifluorid; ein Fluorharz, das zumindest ein Material enthält, das aus folgender Gruppe ausgewählt ist: Polytetrafluorethylen, Polychlorotrifluorethylen, Polyvinylfluorid, fluoriertes Ethylenpropylenharz, Polyvinylidenfluorid, und Polyacetal; Aluminiumoxid; Siliziumoxid; Germaniumoxid; Zirkoniumoxid; Titanoxid; Tantaloxid; Nioboxid; Hafniumoxid; Ceroxid; Magnesiumoxid; Neodymoxid; Gadoliniumoxid; Thoriumoxid; Yttriumoxid; Scandiumoxid; Lanthanoxid; Praseodymoxid; Zinkoxid; Bleioxid; eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Siliziumoxiden ausgewählt sind; eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe der Hafniumoxide ausgewählt ist; und eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

plexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe der Hafniumoxide ausgewählt ist; und eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

Die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß einer siebten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine optische Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten einer zu beleuchtenden Oberfläche mit Beleuchtungslicht von einer Lichtquelle, wobei die Einrichtung eine Mikrofliegenaugenlinse aufweist, die auf einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, und ein Substrat mit einer Oberfläche aufweist, die mit mehreren Linsenoberflächen versehen ist; wobei ein optisches Kondensorsystem vorgesehen ist, das auf dem optischen Weg zwischen der Mikrofliegenaugenlinse und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, um einen Lichtstrahl von der Mikrofliegenaugenlinse zur zu beleuchtenden Oberfläche zu führen, oder zu einer in Bezug auf die zu beleuchtende Oberfläche optisch konjugierten Oberfläche; und ein austrittsseitiges Schutzteil, das an der Austrittsseite der Mikrofliegenaugenlinse angeordnet ist, und aus einem Material besteht, das für das Beleuchtungslicht durchlässig ist, wobei das austrittsseitige Schutzteil ein Lichtabschirmteil aufweist, das in dem austrittsseitigen Schutzteil vorgesehen ist, um Licht zu blockieren, das durch einen Bereich der Mikrofliegenaugenlinse hindurchgegangen ist, der sich von den mehreren Linsenoberflächen unterscheidet, und zwar zur beleuchtenden Oberfläche. Wenn das Lichtabschirmteil vorgesehen ist, um das Licht abzusperren, das durch den Bereich der Mikrofliegenaugenlinse hindurchgegangen ist, der sich von den Linsenoberflächen unterscheidet, dann kann die Bilderzeugungsleistung verbessert werden.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der optische Integrierer ein eintrittsseitiges Abdeckglas aufweisen, das auf der Eintrittsseite der Mikrofliegenaugenlinse vorgesehen ist.

Die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß einer achten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine optische Photolithographie-Belichtungseinrichtung, die so ausgebildet ist, daß sie mit einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung kombiniert werden kann, die ein optisches Projektionssystem aufweist, durch welches ein Bild eines Musters auf einer Maske, die an einer ersten Oberfläche angeordnet ist, auf einem lichtempfindlichen Substrat ausgebildet wird, das an einer zweiten Oberfläche angeordnet ist, zur Beleuchtung der ersten Oberfläche mit einem Lichtstrahl von einer Lichtquelle, wobei die optische Beleuchtungseinrichtung mehrere Lichtstrahlüberlagerungsvorrichtungen aufweist, die zwischen der Lichtquelle und der ersten Oberfläche angeordnet sind, um den Lichtstrahl von der Lichtquelle zu unterteilen, und die so unterteilten Lichtstrahlen auf einem Beleuchtungsgebiet zu überlagern, welches einen Bereich auf einer vorbestimmten Oberfläche darstellt; wobei ein Beleuchtungsbilderzeugungsoptiksystem vorgesehen ist, das zwischen der Überlagerungsvorrichtung für die mehreren Lichtstrahlen und der ersten Oberfläche angeordnet ist, um ein Bild des Beleuchtungsgebietes auf der ersten Oberfläche oder in deren Nähe zu erzeugen, wobei das Beleuchtungsbilderzeugungsoptiksystem eine Aperturblende aufweist, die an einer Position angeordnet ist, die optisch konjugiert zu einer Pupille des optischen Projektionssystems ausgebildet ist.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann die Überlagerungsvorrichtung für mehrere Lichtstrahlen eine Wellenfront des Lichtstrahls von der Lichtquelle unterteilen.

Die Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer neunten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung zum Projizieren eines Musters einer Maske auf ein lichtempfindliches Substrat, wobei die Einrichtung die optische Beleuchtungseinrichtung aufweist, und die zu beleuchtende Oberfläche auf dem lichtempfindlichen Substrat angeordnet ist.

Eine Projektions-Photolithographie-Belichtungseinrichtung, bei welcher die optische Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist, kann die Gleichförmigkeit der Beleuchtung auf der Belichtungsfläche des lichtempfindlichen Substrats, welche die zu beleuchtende Oberfläche darstellt, und die Gleichförmigkeit der numerischen Apertur sicherstellen. Daher lassen sich in vorteilhafter Weise die Projektion und die Belichtung mit hoher Durchsatzrate unter günstigen Belichtungsbedingungen durchführen.

Die Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer zehnten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung zur Übertragung eines Musters einer Maske, die auf einer ersten Oberfläche auf einem Werkstück angeordnet ist, das auf einer zweiten Oberfläche angeordnet ist, wobei die Photolithographie-Belichtungseinrichtung die optische Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten der ersten Oberfläche aufweist; und eine Projektions-Photolithographie-Belichtungseinrichtung vorgesehen ist, die auf einem optischen Weg zwischen der ersten und der zweiten Oberfläche angeordnet ist, um das Muster der Maske auf das Werkstück zu projizieren, wobei die optische Beleuchtungseinrichtung weiterhin eine Lichtintensitätsverteilungsänderungsvorrichtung aufweist, die auf dem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um die Lichtintensitätsverteilung eines Lichtstrahls zu ändern, der auf den optischen Integrierer einfällt.

Die Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer elften Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung zum Beleuchten einer Maske, die mit einem Muster versehen ist, mit Beleuchtungslicht in einem vorbestimmten Wellenlängenbereich, um ein Bild des Musters auf einem Substrat mit Hilfe eines optischen Projektionssystems zu erzeugen, wobei die Photolithographie-Belichtungseinrichtung die optische Beleuchtungseinrichtung zum Liefern des Beleuchtungslichts an die Maske aufweist.

Die Photolithographie-Belichtungseinrichtung kann so ausgebildet sein, daß ein Beleuchtungsbereich auf der Maske eine Form aufweist, dessen Länge in einer vorbestimmten Richtung sich von jener in der Richtung orthogonal zur vorbestimmten Richtung unterscheidet, wobei die Belichtung durchgeführt wird, während eine Relativbeziehung zwischen der Maske und dem Beleuchtungsbereich geändert wird.

Das Belichtungsverfahren gemäß einer zwölften Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist ein Belichtungsverfahren, bei welchem eine mit einem Muster versehene Maske mit Beleuchtungslicht in einem vorbestimmten Wellenlängenbereich beleuchtet wird, um ein Bild des Musters auf einem Substrat über ein optisches Projektionssystem auszubilden, wobei das Beleuchtungslicht der Maske unter Verwendung der optischen Beleuchtungseinrichtung zugeführt wird. Wenn die optische Beleuchtungseinrichtung eingesetzt wird, können die Projektion und die Belichtung unter vorteilhaften Belichtungsbedingungen durchgeführt werden, wodurch vorteilhafte Mikrogeräte (Halbleitergeräte, Bildaufnahme-geräte, Flüssigkristallanzeigergeräte, Dünnfilm-Magnetköpfe und dergleichen) hergestellt werden können.

Die Beobachtungseinrichtung gemäß einer dreizehnten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine Beobachtungseinrichtung zur Ausbildung eines Bildes eines zu beobachtenden Objekts, wobei die Einrichtung die optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung des zu beobachtenden Objekts aufweist; und ein Bilderzeugungsoptiksystem, das zwischen dem zu beobachtenden Objekt und dem Bild angeordnet ist, um ein Bild des zu beobachtenden Objekts entsprechend Licht auszubilden, das sich über das zu beobachtende Objekt ausgebreitet hat.

Die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß einer vierzehnten Zielrichtung der vorliegenden Erfindung ist eine optische Beleuchtungseinrichtung zum Beleuchten einer zu beleuchtenden Oberfläche mit Beleuchtungslicht von einer Lichtquelle, wobei die optische Beleuchtungseinrichtung einen optischen Integrierer aufweist, der auf dem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zur Ausbildung einer Sekundärlichtquelle entsprechend dem Lichtstrahl von der Lichtquelle; wobei ein optisches Kondensorsystem vorgesehen ist, das zwischen dem optischen Integrierer und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zum Führen des Lichtstrahls von dem optischen Integrierer zu der zu beleuchtenden Oberfläche zu einer Oberfläche, die zu der zu beleuchtenden Oberfläche optisch konjugiert ist; und ein optisches Beugungselement, das auf dem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, wobei eine Oberfläche des optischen Beugungselements mit einem Reflexionsverhinderungsfilm in Bezug auf das Beleuchtungslicht versehen ist. Wenn der Reflexionsverhinderungsfilm vorgesehen ist, kann der Wirkungsgrad der Beleuchtung der zu beleuchtenden Oberfläche verbessert werden.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung kann der Reflexionsverhinderungsfilm zumindest ein Bestandteil aufweisen, welches ausgewählt ist aus: Aluminiumfluorid; Bariumfluorid; Calciumfluorid; Cerfluorid; Cäsiumfluorid; Erbiumfluorid; Gadoliniumfluorid; Hafniumfluorid; Lanthanfluorid; Lithiumfluorid; Magnesiumfluorid; Natriumfluorid; Chrysolit; Chiolit; Neodymfluorid; Bleifluorid; Scandiumfluorid; Strontiumfluorid; Terbiumfluorid; Thoriumfluorid; Yttriumfluorid; Ytterbiumfluorid; Samariumfluorid; Dysprosiumfluorid; Praseodymfluorid; Europiumfluorid; Holmiumfluorid; Wismuttrifluorid; ein Fluorharz, das zumindest ein Material enthält, das aus folgender Gruppe ausgewählt ist: Polytetrafluorethylen, Polychlorotrifluorethylen, Polyvinylfluorid, fluoriertes Ethylenpropylenharz, Polyvinylidenfluorid, und Polyacetal; Aluminiumoxid; Siliziumoxid; Germaniumoxid; Zirkoniumoxid; Titanoxid; Tantaloxid; Nioboxid; Hafniumoxid; Ceroxid; Magnesiumoxid; Neodymoxid; Gadoliniumoxid; Thoriumoxid; Yttriumoxid; Scandiumoxid; Lanthanoxid; Praseodymoxid; Zinkoxid; Bleioxid; eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Siliziumoxiden ausgewählt sind; eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe der Hafniumoxide ausgewählt ist; und eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

Die vorliegende Erfindung wird nachstehend anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, woraus weitere Vorteile und Merkmale hervorgehen, und wobei nachstehend nur Beispiele angegeben sind, welche die vorliegende Erfindung nicht einschränken sollen.

Der weitere Umfang der Einsetzbarkeit der vorliegenden Erfindung wird aus der nachstehenden, detaillierten Beschreibung deutlich. Jedoch wird darauf hingewiesen, daß zwar die detaillierte Beschreibung und die spezifischen Beispiele bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung erläutern, aber auch nur zur Erläuterung dienen sollen, da Fachleuten auf diesem Gebiet verschiedene Änderungen und Modifikationen innerhalb des Wesens und Umfangs der vorliegenden Erfindung auffallen werden, nachdem sie diese detaillierte Beschreibung verstanden haben.

Es zeigt:

Fig. 1 einen optischen Integrierer, bei welchem die Eintrittsoberfläche und die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine regelmäßig sechseckige Form mit derselben Größe aufweisen;

Fig. 2A einen optischen Integrierer, bei welchem die Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine rechteckige Form aufweist;

Fig. 2B einen optischen Integrierer, bei welchem die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine regelmäßig sechseckige Form aufweist;

Fig. 3A einen optischen Integrierer, bei welchem die Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine rechteckige Form aufweist;

Fig. 3B einen optischen Integrierer, bei welchem die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine rechteckige Form aufweist;

Fig. 4 einen optischen Integrierer, bei welchem die Eintrittsoberfläche und die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine rechteckige Form mit derselben Größe aufweisen;

Fig. 5 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines Mikroskops einer ersten Ausführungsform;

Fig. 6A eine Darstellung der optischen Beleuchtungseinrichtung, die bei dem Mikroskop gemäß der ersten Ausführungsform vorgesehen ist;

Fig. 6B eine Darstellung zur Erläuterung der numerischen Apertur einer Mikrolinse, die in der optischen Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist;

Fig. 6C ein Diagramm, welches die Leuchtdichteverteilung von Licht zeigt, das auf eine Mikrolinse auffällt;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Mikroskops gemäß einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform;

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer vierten Ausführungsform;

Fig. 10 eine Darstellung der numerischen Apertur eines Lichtstrahls, der auf zwei bestimmte, benachbarte Mikrolinsen in einem optischen Integrierer auftrifft, und der Größe einer Mikrolinse in Abstrichung;

Fig. 11 eine schematische Darstellung der Ausbildung einer Projektions-Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer fünften Ausführungsform;

Fig. 12A eine Darstellung der Ausbildung jeder Mikrofliegenaugenlinse einer Vorrichtung zur Erzeugung mehrerer Lichtquellen entlang einer optischen Achse AX;



- Fig. 12B eine Darstellung des Betriebsablaufs und der Querschnittsformen von zwei Mikrofliegenaugenlinsen;  
 Fig. 13 eine Darstellung zur Erläuterung der Positionierung eines Paares von Mikrofliegenaugenlinsen;  
 Fig. 14A eine schematische Darstellung einer Projektions-Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer sechsten Ausführungsform;  
 5 Fig. 14B eine Darstellung eines Revolverkopfes, der mit Mikrofliegenaugenlinsen versehen ist;  
 Fig. 14C eine Darstellung eines Revolverkopfes, der mit optischen Beugungselementen versehen ist;  
 Fig. 15A eine Darstellung einer Ausführungsform eines optischen Beugungselements als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung;  
 Fig. 15B eine Aufsicht auf eine Mikrofliegenaugenlinse;  
 10 Fig. 16 eine Darstellung zur Erläuterung der Funktionen von Mikrofliegenaugenlinsen;  
 Fig. 17A eine Darstellung zur Erläuterung der Funktion eines optischen Beugungselements als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung;  
 Fig. 17B eine Darstellung eines Fernfeldmusters, das durch ein optisches Beugungselement erzeugt wird;  
 Fig. 17C eine Darstellung eines Fernfeldmusters, das durch ein optisches Beugungselement erzeugt wird;  
 15 Fig. 18 eine Darstellung zur Erläuterung der Funktion eines optischen Beugungselements als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung;  
 Fig. 19A eine Darstellung zur Erläuterung einer Auswirkung einer Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung;  
 Fig. 19B eine Darstellung zur Erläuterung der Auswirkung einer Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung;  
 Fig. 20A eine Darstellung eines Lichtabschirmmusters, das in einem Abdeckglas vorhanden ist;  
 20 Fig. 20B eine Darstellung des Lichtabschirmmusters, das in dem Abdeckglas vorgesehen ist;  
 Fig. 21 eine Ansicht eines anderen Lichtabschirmmusters, das in einem Abdeckglas vorgesehen ist;  
 Fig. 22 ein Flußdiagramm zur Erläuterung eines Vorgangs zur Herstellung eines Halbleitergeräts; und  
 Fig. 23 ein Flußdiagramm zur Erläuterung eines Vorgangs zur Herstellung eines Flüssigkristallanzeigergeräts.  
 Zuerst wird ein Fall betrachtet, bei welchem die Eintrittsoberfläche und die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse, von  
 25 denen mehrere bei einem optischen Integrierer vorgesehen sind, regelmäßig rechteckige Formen aufweisen, und zwar mit derselben Größe, wie dies in Fig. 1 gezeigt ist. Hierbei nimmt die Leuchtdichte entsprechend der Beugungsgrenze in Bezug auf die Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse in Randbereichen eines Beleuchtungsgebietes ab, das auf einer zu beleuchtenden Oberfläche vorgesehen ist, die zur Eintrittsoberfläche optisch konjugiert ist. Nunmehr wird mit  $d$  der Durchmesser des Kreises bezeichnet, der die Eintrittsoberfläche bzw. die Austrittsoberfläche umschreibt, die eine regelmäßig  
 30 sechseckige Form aufweisen, mit  $NA$  die numerische Apertur der Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse (sh. Fig. 6B), mit  $f$  die Brennweite jeder Mikrolinse, und mit  $\lambda$  die Wellenlänge eines einfallenden Lichtstrahles, und dann wird die Breite  $b$  von Randbereichen (sh. Fig. 6C) auf der Eintrittsoberfläche, die zur Verringerung der Leuchtdichte infolge der Beugungsgrenze beiträgt, durch folgenden Ausdruck (a) ausgedrückt:

$$35 \quad b = 0,61(\lambda/NA) = 0,61\lambda/[(d/2)/f] \quad (a)$$

Um eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über dem gesamten Beleuchtungsgebiet zu erzeugen, das auf der zu beleuchtenden Oberfläche entsteht, ist es wünschenswert, daß die voranstehend erwähnten Breite  $b$  kleiner als 1/10 der Größe  $d$  der Eintrittsoberfläche ist, so daß die folgende Bedingung (b) erfüllt ist:

$$40 \quad 0,61[\lambda/(d/2)/f] \leq d/10 \quad (b)$$

Die Bedingung (b) kann abgeändert werden, so daß sich die folgende Beziehung (1) ergibt:

$$45 \quad (d/2)2/(\lambda \cdot f) \geq 3,05 \quad (1)$$

Um eine noch gleichmäßigere Leuchtdichteverteilung über das Beleuchtungsgebiet zu erhalten, sollte die voranstehend geschilderte Breite  $b$  kleiner als 1/100 der Größe der Eintrittsoberfläche sein, also die folgende Bedingung (c) erfüllt sein:

$$50 \quad 0,61[\lambda/(d/2)/f] \leq d/100 \quad (c)$$

Die Bedingung (c) kann abgeändert werden, so daß sich die folgende Bedingung (1') ergibt:

$$55 \quad (d/2)2/(\lambda \cdot f) \geq 30,5 \quad (1')$$

Obwohl voranstehend ein Fall erläutert wurde, bei welchem die Eintrittsoberflächen und die Austrittsoberflächen des optischen Integrierers regelmäßig rechteckige Formen mit derselben Größe aufweisen, gilt entsprechendes auch in einem Fall, in welchem die Eintrittsoberflächen und die Austrittsoberflächen kreisförmige Formen mit derselben Größe aufweisen.

Nunmehr wird ein Fall betrachtet, bei welchem die Eintrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine rechteckige Form aufweist, wie dies in Fig. 2A gezeigt ist, und die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine regelmäßig sechseckige Form, wie dies in Fig. 2B gezeigt ist. Hierbei wird mit  $d_1$  die Länge der längeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche bezeichnet, mit  $d_2$  die Länge der kürzeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche, mit  $D$  der Durchmesser des Kreises, welcher die regelmäßig rechteckige Austrittsoberfläche umschreibt, mit  $NA$  die numerische Apertur jeder Mikrolinse, und mit  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls, und dann kann die Breite  $b$  von Randbereichen auf der Eintrittsoberfläche, die zur Verringerung der Leuchtdichte infolge der Beugungsgrenze beitragen, durch den folgenden Ausdruck (d) ausgedrückt werden:



$$b = 0,61\lambda[(D/2)/f] \quad (d)$$

Um eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung im wesentlichen im gesamten Beleuchtungsgebiet zu erhalten, das auf der zu beleuchtenden Oberfläche erzeugt wird, ist es wünschenswert, daß die voranstehend geschilderte Breite  $b$  kleiner als  $1/10$  der Größe  $d_1$  der Eintrittsoberfläche in Richtung ihrer längeren Seite ist, oder kleiner als  $1/10$  von deren Abmessung  $d_2$  in Richtung der kürzeren Seite, also die folgenden Bedingungen (e) oder (f) erfüllt sind:

$$0,61[\lambda(D/2)/f] \leq d_1/10 \quad (e)$$

$$0,61[\lambda(D/2)/f] \leq d_2/10 \quad (f)$$

Die Bedingungen (e) und (f) lassen sich abändern, woraus sich die Beziehungen ergeben, die durch die folgenden Bedingungen (2) und (3) angegeben sind:

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05 \quad (2)$$

$$(d_2/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05 \quad (3)$$

Um eine noch gleichmäßigere Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über das gesamte Beleuchtungsgebiet zu erhalten, ist es wünschenswert, daß die voranstehend erwähnte Breite  $b$  kleiner als  $1/100$  der Größe  $d_1$  der Eintrittsoberfläche in Richtung der längeren Seite ist, oder kleiner als  $1/100$  der Größe  $d_2$  in Richtung der kürzeren Seite, also die folgende Bedingung (g) oder (h) erfüllt ist:

$$0,61[\lambda(D/2)/f] \leq d_1/100 \quad (g)$$

$$0,61[\lambda(D/2)/f] \leq d_2/100 \quad (h)$$

Die Bedingungen (g) und (h) können so abgeändert werden, daß sich die Beziehungen ergeben, die durch die folgenden Bedingungen (2') und (3') gegeben sind:

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 30,5 \quad (2')$$

$$(d_2/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 30,5 \quad (3')$$

Wenn die Austrittsoberfläche vollständig regelmäßig sechseckig ist, dann muß das Verhältnis zwischen der Länge  $d_1$  der längeren Seite der Eintrittsoberfläche und der Länge  $d_2$  der kürzeren Seite folgende Beziehung erfüllen, die sich aus dem nachstehenden Ausdruck (i) ergibt:

$$d_1 : d_2 = 3 : \sqrt{3}/2 \text{ oder } 1,5 : \sqrt{3} \quad (i)$$

Hierbei bezeichnet  $\sqrt{3}$  die Quadratwurzel von 3. Weiterhin ist es erforderlich, daß die Form der Eintrittsoberfläche eines optischen Integrierers gleich der Form eines Beleuchtungsbereiches (Beleuchtungsgebiets) ist, das auf der zu beleuchtenden Oberfläche entstehen soll. In der Praxis wird daher die Eintrittsoberfläche auf eine vorbestimmte, rechteckige Form eingestellt, und wird die Form der Austrittsoberfläche auf eine sechseckige Form eingestellt, welche eine regelmäßige sechseckige Form entsprechend der Form der Eintrittsoberfläche approximiert.

Zwar wurde voranstehend der Fall erläutert, bei welchem die Austrittsoberflächen des optischen Integrierers eine regelmäßig sechseckige Form aufweisen, jedoch gilt entsprechendes auch für einen Fall, in welchem die Austrittsoberflächen Kreisform aufweisen. Vorzugsweise hat die Austrittsoberfläche des optischen Integrierers eine Form gleich der Form seiner Lichtquelle. Im Falle einer Lampe als Lichtquelle sind im wesentlichen Kreisformen und regelmäßig sechseckige Formen wirksam.

Nunmehr wird ein Fall betrachtet, bei welchem die Eintrittsoberfläche und die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse jeweils eine rechteckige Form aufweisen, wie dies in den Fig. 3A und 3B gezeigt ist. Hierbei wird mit  $d_1$  die Länge der längeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche bezeichnet, mit  $d_2$  die Länge der kürzeren der rechteckigen Eintrittsoberfläche, mit  $D_1$  die Länge der rechteckigen Austrittsoberfläche entlang jener Richtung, welche der Richtung der längeren Seite der Eintrittsoberfläche entspricht, mit  $D_2$  die Länge der rechteckigen Austrittsoberfläche entlang jener Richtung, welche der Richtung der kürzeren Seite der Eintrittsoberfläche entspricht, mit  $NA$  die numerische Apertur jeder Mikrolinse, mit  $f$  die Brennweite jeder Mikrolinse, und mit  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls, und dann werden die Breiten  $b_1$  und  $b_2$  entlang der Richtung der längeren Seite bzw. der Richtung der kürzeren Seite von Randbereichen auf der Eintrittsoberfläche, welche zur Verringerung der Leuchtdichte infolge der Beugungsgrenze beitragen, durch die folgenden Ausdrücke (j) und (k) ausgedrückt:

$$b_1 = 0,61\lambda[(D_1/2)/f] \quad (j)$$

$$b_2 = 0,61\lambda[(D_2/2)/f] \quad (k)$$

Zur Erzielung einer gleichförmigen Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über das gesamte Beleuchtungsgebiet, das auf der zu beleuchtenden Oberfläche ausgebildet wird, ist es wünschenswert, daß die voranstehend geschilderte Breite  $b_1$  kleiner als  $1/10$  der Größe  $d_1$  der Eintrittsoberfläche in Richtung der längeren Seite ist, oder die voranstehend

geschilderte Breite  $b_2$  kleiner als  $d_1/10$  der Größe  $d_2$  der Eintrittsoberfläche in Richtung der kürzeren Seite ist, so daß die folgenden Bedingungen (m) oder (n) erfüllt sind:

$$0,61\lambda/[(D_1/2)/f] \leq d_1/10 \quad (m)$$

$$0,61\lambda/[(D_2/2)/f] \leq d_2/10 \quad (n)$$

Die Bedingungen (m) und (n) können so abgeändert werden, daß sich die Beziehungen ergeben, die durch die folgenden Bedingungen (4) und (5) ausgedrückt werden:

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05 \quad (4)$$

$$(d_2/2)(D_2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05 \quad (5)$$

Um eine noch gleichmäßigere Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über das gesamte Beleuchtungsgebiet zu erzielen, ist es wünschenswert, daß die voranstehend geschilderte Breite  $b_1$  kleiner als  $1/100$  der Größe  $d_1$  der Eintrittsoberfläche in Richtung der längeren Seite ist, oder die voranstehend erwähnte Breite  $b_2$  kleiner als  $1/100$  der Größe  $d_2$  der Eintrittsoberfläche in Richtung der kürzeren Seite ist, also die folgende Bedingung (p) oder (q) erfüllt ist:

$$0,61\lambda/[(D_1/2)/f] \leq d_1/100 \quad (p)$$

$$0,61\lambda/[(D_2/2)/f] \leq d_2/100 \quad (q)$$

Die Bedingungen (p) und (q) können so abgeändert werden, daß sich die Beziehungen ergeben, die durch die folgenden Bedingungen (4') und (5') ausgedrückt werden:

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 30,5 \quad (4')$$

$$(d_2/2)(D_2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 30,5 \quad (5')$$

Schließlich wird ein Fall überlegt, in welchem sowohl die Eintrittsoberfläche als auch die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine rechteckige Form mit derselben Größe aufweist. Hierbei wird mit  $d_1$  die Länge der längeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche und der rechteckigen Austrittsoberfläche bezeichnet, mit  $d_2$  die Länge der kürzeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche und Austrittsoberfläche, mit NA die numerische Apertur jeder Mikrolinse, mit  $f$  die Brennweite jeder Mikrolinse, und mit  $\lambda$  die Wellenlänge eines einfallenden Lichtstrahls, und dann ergibt sich die Breite  $b$  von Randbereichen auf der Eintrittsoberfläche, die zur Verringerung der Leuchtdichte infolge der Beugungsgrenze beitragen, aus folgendem Ausdruck (r):

$$b = 0,61\lambda/[(d_1/2)/f] \quad (r)$$

Um eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über dem gesamten Beleuchtungsgebiet zu erzeugen, das auf der zu beleuchtenden Oberfläche entsteht, ist es wünschenswert, daß die voranstehend geschilderte Breite  $b$  kleiner als  $1/10$  der Größe  $d_1$  der Eintrittsoberfläche in Richtung der längeren Seite ist, oder kleiner als  $1/10$  der Größe  $d_2$  in Richtung der kürzeren Seite, also die folgende Bedingung (s) oder (t) erfüllt ist:

$$0,61\lambda/[(d_1/2)/f] \leq d_1/10 \quad (s)$$

$$0,61\lambda/[(d_2/2)/f] \leq d_2/10 \quad (t)$$

Die Bedingungen (s) und (t) lassen sich so abändern, daß man die Beziehungen erhält, die durch die folgenden Bedingungen (6) und (7) angegeben werden:

$$(d_1/2)^2/\lambda \cdot f \geq 3,05 \quad (6)$$

$$(d_2/2)^2/\lambda \cdot f \geq 3,05 \quad (7)$$

Um eine noch gleichmäßigere Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über das gesamte Beleuchtungsgebiet zu erhalten, ist es wünschenswert, daß die voranstehend angegebene Breite  $b$  kleiner ist als  $1/100$  der Größe  $d_1$  der Eintrittsoberfläche in Richtung der längeren Seite, oder kleiner als  $1/100$  der Größe  $d_2$  in Richtung der kürzeren Seite, also die folgende Bedingung (u) oder (v) erfüllt ist:

$$0,61\lambda/[(d_1/2)/f] \leq d_1/100 \quad (u)$$

$$0,61\lambda/[(d_2/2)/f] \leq d_2/100 \quad (v)$$

Die Bedingungen (u) und (v) können so abgeändert werden, daß man die Beziehung erhält, die durch die folgende Bedingung (6') bzw. (7') angegeben wird:

$$(d_1/2)/\lambda \cdot f \geq 30,5 \quad (6)$$

$$(d_2/2)/\lambda \cdot f \geq 30,5 \quad (7)$$

Nunmehr werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen erläutert.

#### Erste Ausführungsform

Fig. 5 ist eine schematische Darstellung eines Mikroskops (Beobachtungseinrichtung) gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Mikroskop gemäß der ersten Ausführungsform ist ein Mikroskop des Epi-Beleuchtungstyps (Vertikaleinfallbeleuchtung), bei welchem ein Lichtstrahl von einem Beleuchtungsgebiet, das am Ort einer Sehfeldblende 15 erzeugt wird, auf einen Strahlteiler 61 über eine vordere Linsengruppe 16a eines optischen Bilderzeugungssystems 16 einfällt. Der Lichtstrahl, der von dem Strahlteiler 61 reflektiert wird, führt zu einer Beleuchtung mit vertikalem Einfall einer Objektoberfläche mit Hilfe einer hinteren Linsengruppe 16b des Bilderzeugungsoptiksystems 16. Das von der Objektoberfläche reflektierte Licht fällt auf den Strahlteiler 61 über eine erste Objektlinse 62 ein (also die hintere Linsengruppe 16b des Bilderzeugungsoptiksystems 16). Das von dem Strahlteiler 61 durchgelassene Licht bildet ein Beobachtungsobjektbild 64 mit Hilfe einer zweiten Objektlinse 63. Dieses Beobachtungsobjektbild 64 wird vergrößert durch ein Okular 65 betrachtet.

Die optische Beleuchtungseinrichtung, die in dem Mikroskop gemäß der ersten Ausführungsform vorgesehen ist, wird nunmehr unter Bezugnahme auf Fig. 6A erläutert. Fig. 6A zeigt schematisch den Aufbau der optischen Beleuchtungseinrichtung, die in dem Mikroskop vorgesehen ist. Die optische Beleuchtungseinrichtung ist mit beispielsweise einer Halogenlampe 10 als Lichtquelle zum Liefern von Beleuchtungslicht versehen. Ein Lichtstrahl von der Halogenlampe 10 wird in einen im wesentlichen parallelen Lichtstrahl durch eine Kollimatorlinse 11 umgewandelt, und trifft auf eine Mikrofliegenaugenlinse 12 auf, die als optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps dient. Wie in den Fig. 1 und 5 gezeigt ist, ist die Mikrofliegenaugenlinse 12 ein optisches Element, das aus einer Anzahl an Mikrolinsen besteht, die dicht gepackt in einer Matrix Abschnitt sind, und jeweils eine positive Brechkraft aufweisen, wobei die Eintrittsoberfläche und die Austrittsoberfläche jeder Mikrolinse eine regelmäßig rechteckige Form mit derselben Größe (Größe d) aufweisen. Die Mikrofliegenaugenlinse 12 wird beispielsweise durch Ätzen einer planparallelen Glasplatte hergestellt, um eine Mikrolinsengruppe auszubilden.

Der Lichtstrahl, der auf die Mikrofliegenaugenlinse 12 auftrifft, wird daher zweidimensional durch eine Anzahl von Mikrolinsen unterteilt, so daß eine Lichtquelle mit einer beträchtlichen Oberfläche (die nachstehend als "Sekundärlichtquelle" bezeichnet wird), die aus einer Anzahl an Lichtquellen besteht, in der bildseitigen Brennebene der Mikrofliegenaugenlinse 12 erzeugt wird. Der Lichtstrahl von der Sekundärlichtquelle, der an der bildseitigen Brennebene der Mikrofliegenaugenlinse 12 erzeugt wird, wird durch eine Aperturblende 13 eingeschränkt, die in der Nähe angeordnet ist, und dann von einer Kondensorlinse 14 gesammelt, um ein Beleuchtungsgebiet an der bildseitigen Brennebene der Kondensorlinse 14 auszubilden. Eine Sehfeldblende 15 ist an einem Ort angeordnet, an welchem das Beleuchtungsgebiet ausgebildet wird (also der bildseitigen Brennebene der Kondensorlinse 14). Die Kollimatorlinse 11, die Mikrofliegenaugenlinse 12 und die Kondensorlinse 14 bilden daher eine Überlagerungsvorrichtung für mehrere Lichtstrahlen, um eine Anzahl an Lichtquellen entsprechend dem Lichtstrahl von der Lichtquelle 10 auszubilden, und ein Beleuchtungsgebiet zu erzeugen, welches einen Bereich auf einer vorbestimmten Oberfläche darstellt, an welchem die Lichtstrahlen von den mehreren Lichtquellen einander überlagert werden.

Der Lichtstrahl von dem Beleuchtungsgebiet, der durch die Sehfeldblende 15 hindurchgegangen ist, beleuchtet über das Bilderzeugungsoptiksystem 16 eine Objektoberfläche (Probenoberfläche) 17, die betrachtet werden soll. Die Sehfeldblende 15 und die Objektoberfläche 17 als die zu beleuchtende Oberfläche sind so in Bezug aufeinander angeordnet, daß sie zueinander optisch konjugiert sind, mit Hilfe des Bilderzeugungsoptiksystems 16. Daher wird ein Beleuchtungsbereich als Bild des Öffnungsabschnitts der Sehfeldblende 15 (also ein Bild des Beleuchtungsgebietes) auf der Objektoberfläche 17 ausgebildet. Eine Aperturblende 18 zum Abblocken unnötigen Lichtes, welches eine Blendung und dergleichen hervorruft, ist in der Nähe der Pupillenebene des Bilderzeugungsoptiksystems 16 angeordnet. Obwohl die optische Beleuchtungseinrichtung auch dann arbeitet, wenn nur eine der Aperturblenden 13 und 18 vorhanden ist, ist es wünschenswert, beide Aperturblenden 13 und 18 bereitzustellen, um in vorteilhafter Weise das Auftreten einer Blendung und dergleichen zu verhindern. Weiterhin ist es vorzuziehen, daß die Aperturblende 13 und/oder die Aperturblende 18 einen variablen Öffnungsabschnitt aufweisen.

#### Zweite Ausführungsform

Ein Mikroskop gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nunmehr unter Bezugnahme auf Fig. 7 beschrieben. Das Mikroskop gemäß der zweiten Ausführungsform ist ein Transmissionsbeleuchtungsmikroskop, für vertikale Transmission, bei welchem ein Lichtstrahl von einem Beleuchtungsgebiet, das an dem Ort einer Sehfeldblende 15 ausgebildet wird, eine Objektoberfläche von unten über ein Bilderzeugungsoptiksystem 16 beleuchtet. Das Licht, das durch die Objektoberfläche hindurchgegangen ist, bildet ein Beobachtungsobjektbild 64 mit Hilfe einer ersten Objektlinse 62 und einer zweiten Objektlinse 63. Dieses Beobachtungsobjektbild 64 wird vergrößert mit einem Okular 65 betrachtet. Die optische Beleuchtungseinrichtung, die bei dem Mikroskop gemäß der zweiten Ausführungsform vorgesehen ist, ist ebenfalls die in Fig. 5 gezeigte optische Beleuchtungseinrichtung. In den Fig. 6A und 7 ist die Aperturblende 18 nicht dargestellt.

Bei der optischen Beleuchtungseinrichtung, die bei den Mikroskopen gemäß der ersten und der zweiten Ausführungsform vorhanden ist, ist die Mikrofliegenaugenlinse 12 so ausgebildet, daß sie die voranstehend erwähnten Bedingung (1) erfüllt. In dem Beleuchtungsgebiet, das an dem Ort der Sehfeldblende 15 erzeugt wird, und daher in dem Beleuchtungs-

- bereich (Beleuchtungsgebiet), an der Objektoberfläche 17 entsteht, welche die zu beleuchtende Oberfläche darstellt, kann daher die Breite von Randbereichen klein gehalten werden, in denen die Leuchtdichte abnimmt, so daß eine gleichförmige Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über den gesamten Beleuchtungsbereich erhalten werden kann. Wenn die Mikrofliegenaugenlinse so ausgebildet ist, daß sie die voranstehend geschilderte Bedingung (1') erfüllt, kann die
- 5 Breite von Randbereichen, in denen die Leuchtdichte abnimmt, kleiner gehalten werden, so daß eine noch gleichmäßigere Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über dem gesamten Beleuchtungsbereich erhalten werden kann.

## Dritte Ausführungsform

- 10 Fig. 8 zeigt schematisch den Aufbau einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Photolithographie-Belichtungseinrichtung verwendet eine Quecksilberlampe unter äußerst hohem Druck als Lichtquelle, und wird zur Herstellung eines Flüssigkristallanzeegerätes eingesetzt. Die Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der dritten Ausführungsform ist mit einer Lichtquelle 20 versehen, die eine Quecksilberlampe unter äußerst hohem Druck aufweist, die Licht liefert, welches beispielsweise auf
- 15 der i-Linie ausgesandt wird. Die Lichtquelle 20 ist an einem ersten Brennpunktort eines elliptischen Spiegels 21 angeordnet, der eine elliptische, reflektierende Oberfläche aufweist, die rotationssymmetrisch um eine optische Achse AX ist. Daher bildet ein Beleuchtungslichtstrahl, der von der Lichtquelle 20 ausgesandt wird, ein Lichtquellenbild an einem zweiten Brennpunktort des elliptischen Spiegels 21.

- Ein divergenter Lichtstrahl von dem Lichtquellenbild, das an dem zweiten Brennpunktort des elliptischen Spiegels 21 entsteht, wird in einen im wesentlichen parallelen Lichtstrahl durch eine Kollimatorlinse 22 umgewandelt, und tritt dann in einen optischen Integrierer 23 des Wellenfrontunterteilungstyps über ein Wellenlängenauswahlfilter (nicht gezeigt) ein. Das Wellenlängenauswahlfilter wählt nur Licht auf der i-Linie (365 nm) als Belichtungslicht aus. Hierbei kann zum Beispiel das Wellenlängenauswahlfilter auch Licht auf der g-Linie (436 nm) auswählen, auf der h-Linie (405 nm), und auf der i-Linie, und zwar gleichzeitig; oder gleichzeitig Licht auf der g-Linie und der h-Linie; oder gleichzeitig Licht auf
- 20 der h-Linie und der i-Linie.

- Bei dem optischen Integrierer 23 ist, wie dies in Fig. 8 gezeigt, eine planparallele Platte 23c, die eine vorbestimmte Dicke aufweist, zwischen einer ersten Mikrolinsengruppe 23a an der Eintrittsseite und einer zweiten Mikrolinsengruppe 23b auf der Austrittsseite angeordnet, wobei diese Teile vereinigt ausgebildet sind. Hierbei besteht die erste Mikrolinsengruppe 23a an der Eintrittsseite aus einer Anzahl rechteckiger ( $d_1 \times d_2$ ) Mikrolinsen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen, und dicht gepackt matrixförmig angeordnet sind, wie dies in Fig. 2A gezeigt ist. Andererseits besteht die
- 30 zweite Mikrolinsengruppe 23b aus einer Anzahl regelmäßig sechseckiger (Abmessung D) Mikrolinsen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen, und dicht gepackt matrixförmig angeordnet sind, wie dies in Fig. 2B gezeigt ist. Die erste Mikrolinsengruppe 23a an der Eintrittsseite und die zweite Mikrolinsengruppe 23b an der Austrittsseite werden durch ein Formgebungsverfahren hergestellt, zum Beispiel, so daß die jeweiligen optischen Achsen einander entsprechender Mikrolinsen genau aufeinander ausgerichtet sind.

- Hierbei besteht eine Mikrolinse des optischen Integrierers 23 aus einer ersten Mikrolinse in der ersten Mikrolinsengruppe 23a an der Eintrittsseite und einer zweiten, entsprechenden Mikrolinse in der zweiten Mikrolinsengruppe 23b an der Austrittsseite. Die Brennweite einer Mikrolinse des optischen Integrierers 23 ist die vereinigte Brennweite der voranstehend erwähnten ersten und zweiten Mikrolinse. Hierbei kann die planparallele Platte 23c, die eine vorbestimmte
- 40 Dicke aufweist, zwischen der ersten Mikrolinsengruppe 23a an der Eintrittsseite und der zweiten Mikrolinsengruppe 23b an der Austrittsseite angeordnet sein, und können diese mit einem Kleber oder dergleichen verbunden sein. Für weitere Einzelheiten in Bezug auf den Aufbau des optischen Integrierers 23 wird auf die US-Patentschrift 5 594 526 (beispielsweise Fig. 6 und 7) verwiesen.

- Auf diese Weise wird eine Sekundärlichtquelle, die aus einer Anzahl an Lichtquellen besteht, an der bildseitigen Brennebene des optischen Integrierers 23 ausgebildet. Der Lichtstrahl von der Sekundärlichtquelle wird durch eine Aperturblende 24 eingeschränkt, die in der Nähe der bildseitigen Brennebene des optischen Integrierers 23 angeordnet ist, und trifft dann auf eine Kondensorlinse 25 auf. Die Aperturblende 24 weist einen Öffnungsabschnitt auf, der an einem Ort (der Beleuchtungspupillenposition) angeordnet ist, der optisch konjugiert zur Eintrittspupillenebene eines optischen Projektionssystems PL angeordnet ist, das nachstehend noch genauer erläutert wird, zur Festlegung der Fläche der
- 50 Sekundärlichtquelle, die zur Beleuchtung beiträgt. Weiterhin ist die Aperturblende 24 an der objektseitigen Brennebene der Kondensorlinse 25 angeordnet.

- Daher beleuchtet der Lichtstrahl, der durch die Kondensorlinse 25 gesammelt wird, überlagert eine Beleuchtungs-Sehfeldblende 26 zur Festlegung der Beleuchtungsfläche (des Beleuchtungsgebiets) einer Maske M, die nachstehend genauer erläutert wird. Der Lichtstrahl, der durch einen rechteckigen Öffnungsabschnitt der Beleuchtungs-Sehfeldblende
- 55 26 hindurchgegangen ist, beleuchtet überlagert mit Hilfe eines Bilderzeugungsoptiksystems 27 die Maske M, die mit einem vorbestimmten Übertragungsmuster versehen ist. Ein Bild des Öffnungsabschnitts der Beleuchtungs-Sehfeldblende 26, also eine rechteckige Beleuchtungsfläche gleich der Querschnittsform der ersten Mikrolinsen des optischen Integrierers 23, wird daher auf der Maske M ausgebildet. Eine Aperturblende 28 zum Abblocken unnötigen Lichtes, welches Blendung und dergleichen hervorruft, ist in der Nähe der Pupillenebene des Bilderzeugungsoptiksystems 27 angeordnet (an einem Ort, der optisch konjugiert zur Eintrittspupillenebene des optischen Projektionssystems PL ist). Ein derartiger Einsatz der Aperturblende 28 ist nicht nur bei einer Belichtungseinrichtung möglich, die wie bei der vorliegenden Ausführungsform eine Mikrofliegenaugenlinse verwendet, sondern auch bei einer optischen Belichtungseinrichtung, die einen Integrierer mit interner Reflexion verwendet.

- Die Maske M ist auf einer (nicht dargestellten) Maskenstufe gehalten, die zweidimensional entlang einer Maskenoberfläche bewegbar ist. Die Positionskordinaten der Maskenstufe können von einem Interferometer (nicht dargestellt) gemessen werden, und bezüglich der Position gesteuert werden. Der Lichtstrahl, der durch das Muster der Maske M hindurchgeht, bildet ein Bild des Maskenmusters auf einer Platte P aus, die ein lichtempfindliches Substrat ist, über das optische Projektionssystem PL. Die Platte P ist auf einer Plattenstufe (nicht dargestellt) gehalten, die zweidimensional ent-

lang einer Plattenoberfläche bewegbar ist. Die Positionskoordinaten der Plattenstufe können von einem Interferometer (nicht dargestellt) gemessen werden, und bezüglich der Position gesteuert werden.

Wenn daher eine Sammelbelichtung oder Abtastbelichtung durchgeführt wird, während die Platte P zweidimensional angetrieben wird, und innerhalb einer Ebene gesteuert wird, die orthogonal zur optischen Achse des optischen Projektionssystems PL verläuft, werden einzelne Belichtungsbereiche der Platte P nacheinander mit dem Muster der Maske M belichtet. Bei der Sammelbelichtung werden die einzelnen Belichtungsbereiche der Platte P zusammen mit dem Maskenmuster belichtet, mit dem sogenannten Stufen-Wiederholungsverfahren. Andererseits wird bei der Abtastbelichtung eine Belichtung mit Abtastung durchgeführt, während die Maske M und die Platte P in Bezug auf das optische Projektionssystem PL entlang einer Richtung (Abtastrichtung) bewegt werden, welche optisch der Richtung der kürzeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche des optischen Integrierers 23 entspricht (also der Richtung der kürzeren Seite des rechteckigen Beleuchtungsbereiches, der auf der Maske M ausgebildet wird), entsprechend dem sogenannten Stufen-Abtastverfahren, wodurch einzelne Belichtungsbereiche der Platte P hintereinander mit dem Muster der Maske M belichtet werden.

Bei der Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der dritten Ausführungsform ist der optische Integrierer 23 so ausgebildet, daß er zumindest eine der voranstehend angegebenen Bedingungen (2) und (3) erfüllt. In dem Beleuchtungsbereich (Belichtungsbereich), der auf der Maske M entsteht, welche die zu beleuchtende Oberfläche darstellt, und daher auch auf der Platte P, kann daher die Breite von Randabschnitten klein gehalten werden, in denen die Leuchtdichte abnimmt, wodurch eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über dem gesamten Beleuchtungsbereich erhalten werden kann. Wenn der optische Integrierer 23 so ausgebildet ist, daß er zumindest eine der Bedingungen (2') und (3') erfüllt, dann kann die Breite der Randabschnitte kleiner gehalten werden, in denen die Leuchtdichte abnimmt, wodurch eine noch gleichmäßigere Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über dem gesamten Beleuchtungsbereich erhalten werden kann.

Wenn eine Abtastbelichtung bei der Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der dritten Ausführungsform durchgeführt wird, wird die Leuchtdichteverteilung entlang der Abtastrichtung (jener Richtung, welche optisch der Richtung der kürzeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche des optischen Integrierers 23 entspricht) durch die Auswirkung der Abtastbelichtung geglättet, wobei es vorzuziehen ist, daß die Bedingung (2) erfüllt ist, welche die Richtung der längeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche des optischen Integrierers 23 in den beiden Bedingungen (2) und (3) betrifft. Entsprechend ist es vorzuziehen, wenn die Abtastbelichtung bei der dritten Ausführungsform eingesetzt wird, daß die Bedingung (2') erfüllt ist.

Bei der dritten Ausführungsform besteht die erste Mikrolinsengruppe 23a an der Eintrittsseite aus einer Anzahl rechteckiger Mikrolinsen, wogegen die zweite Mikrolinsengruppe 23b an der Austrittsseite aus einer Anzahl regelmäßig sechseckiger Mikrolinsen besteht. Allerdings ist auch ein abgeändertes Ausführungsbeispiel möglich, bei welchem, wie dies in Fig. 3 gezeigt ist, die erste Mikrolinsengruppe 23a an der Eintrittsseite aus einer Anzahl rechteckiger ( $d_1 \times d_2$ ) Mikrolinsen besteht, während die zweite Mikrolinsengruppe 23b auf der Austrittsseite aus einer Anzahl rechteckiger ( $D_1 \times D_2$ ) Mikrolinsen besteht. Bei diesem abgeänderten Beispiel wird vorzugsweise eine der voranstehend angegebenen Bedingungen (4) und (5) erfüllt, und besonders bevorzugt eine der voranstehend angegebenen Bedingungen (4') und (5') erfüllt. Wenn die Abtastbelichtung bei dem abgeänderten Ausführungsbeispiel durchgeführt wird, so wird vorzugsweise die Bedingung (4) erfüllt, welche die Richtung der längeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche betrifft, und besonders bevorzugt die Bedingung (4') erfüllt.

#### Fünfte Ausführungsform

Fig. 9 zeigt den Aufbau einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Bei der Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der vierten Ausführungsform wird die vorliegende Erfindung bei einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung eingesetzt, die eine Excimerlaserlichtquelle zur Herstellung eines Halbleitergerätes verwendet. Die Photolithographie-Belichtungseinrichtung ist beispielsweise mit einer Excimerlaserlichtquelle zum Liefern von Licht mit einer Wellenlänge von 248 nm (KrF) oder 193 nm (ArF) versehen, die als Lichtquelle 30 zum Liefern von Belichtungslicht (Beleuchtungslicht) dient. Ein im wesentlichen paralleler Lichtstrahl, der von der Lichtquelle 30 ausgesandt wird, wird in einen Lichtstrahl mit einem vorbestimmten rechteckigen Querschnitt durch einen Strahlaufweiter (nicht gezeigt) umgewandelt, und trifft dann auf eine Mikrofliegenaugenlinse 31 auf.

Die Mikrofliegenaugenlinse 31 besteht aus einer Anzahl quadratischer Mikrolinsen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen, und dicht gepackt matrixförmig angeordnet sind. Daher wird eine Anzahl an Lichtquellen in der bildseitigen Brennebene der Mikrofliegenaugenlinse 31 ausgebildet. Lichtstrahlen von einer Anzahl an Lichtquellen, die an der bildseitigen Brennebene der Mikrofliegenaugenlinse 31 erzeugt werden, fallen über eine erste Kondensorlinse 32 auf einen optischen Integrierer 33 des Wellenfrontunterteilungstyps auf. Wie in Fig. 9 gezeigt ist, wird der optische Integrierer 33 durch eine erste Mikrofliegenaugenlinse 33a, die an der Eintrittsseite angeordnet ist, und eine zweite Mikrofliegenaugenlinse 33b gebildet, die an der Austrittsseite angeordnet ist.

Wie in Fig. 4 gezeigt ist, besteht jede der ersten Mikrofliegenaugenlinsen 33a an der Eintrittsseite und der zweiten Mikrofliegenaugenlinsen 33b an der Austrittsseite aus einer Anzahl rechteckiger Mikrolinsen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen, und dicht gepackt matrixförmig angeordnet sind. Weiterhin weisen jede der ersten Mikrolinsen, welche die erste Mikrofliegenaugenlinse 33a an der Eintrittsseite bilden, und jede der zweiten Mikrolinsen, welche die zweite Mikrofliegenaugenlinse 33b an der Austrittsseite bilden, rechteckige Formen ( $d_1 \times d_2$ ) mit derselben Größe auf. Weiterhin sind die erste Mikrofliegenaugenlinse 33a und die zweite Mikrofliegenaugenlinse 33b in Bezug aufeinander so angeordnet, daß die optische Achse jeder ersten Mikrolinse exakt zur optischen Achse ihrer zugehörigen zweiten Mikrolinse ausgerichtet ist.

In diesem Fall wird eine Mikrolinse, welche den optischen Integrierer 33 bildet, durch eine erste Mikrolinse, welche die erste Mikrofliegenaugenlinse 33a an der Eintrittsseite bildet, und eine zweite Mikrolinse gebildet, welche die zweite

Mikrofliegenaugenlinse 33b an der Austrittsseite bildet. Die Brennweite jeder Mikrolinse, welche den optischen Integrierer 33 bildet, ist die vereinigte Brennweite der voranstehend erwähnten ersten und zweiten Mikrolinsen. Vorzugsweise sind Deckgläser an der Eintrittsseite und der Austrittsseite des optischen Integrierers 33 vorgesehen. Weiterhin kann der Krümmungsradius der ersten Mikrolinsen, welche die erste Mikrofliegenaugenlinse 33a bilden, und jener der zweiten Mikrolinsen, welche die zweite Mikrofliegenaugenlinse 33b bilden, geringfügig voneinander verschieden sein, so daß die objektseitige Brennpunktposition mit der Eintrittsoberfläche der ersten Mikrofliegenaugenlinse 33a übereinstimmt, wogegen die bildseitige Brennpunktposition in einem Raum an der Austrittsseite der zweiten Mikrofliegenaugenlinse 33b liegt. In diesem Fall gibt es Vorteile in Bezug auf die Lichtenergiemenge und die Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Laserlicht.

Nunmehr wird ein spezielles Zahlenbeispiel für die erste und die zweite Mikrolinse erläutert, welche das erste und zweite Fliegenauge 33a, 33b bilden (die Mikrolinsen, welche den optischen Integrierer 33 bilden). Bei dem folgenden Zahlenbeispiel wird als Vorgehensweise, die in Bezug auf die Lichtenergiemenge und das Widerstandsvermögen gegenüber dem Laserlicht vorteilhaft ist, die Krümmung der äußersten, austrittsseitigen Linsenoberfläche unter den vier Linsenoberflächen auf einen Wert eingestellt, der sich von jenem der anderen Linsenoberflächen unterscheidet.

In der nachstehenden Tabelle, in welcher die Zahlenbeispiele angegeben sind, geben die Nummern am linken Ende die Nummer der einzelnen Linsenoberflächen an, gezählt von der Lichtquellenseite aus (der Lichteinfallsseite), bezeichnet  $r$  den Radius der Krümmung an der Spitze der Linsenoberfläche,  $d$  den Abstand der Linsenoberfläche, und  $n$  den Brechungsindex, wenn die Wellenlänge  $\lambda$  des Beleuchtungslichts 248 nm beträgt. Weiterhin bezeichnet  $f$  die Brennweite eines optischen Systems, in welchem die ersten und zweiten Mikrolinsen miteinander vereinigt sind.

Sämtliche Mikrolinsenoberflächen, welche bei diesem Zahlenbeispiel den optischen Integrierer 33 bilden, sind asphärisch und rotationssymmetrisch ausgebildet. Diese asphärischen Oberflächen werden durch den folgenden Ausdruck 1 dargestellt:

$$S(y) = \{y^2/r^2\} / \{(1 + \sqrt{1 - y^2/r^2})\}$$

wobei  $y$  die Höhe in Richtung senkrecht zur Zentrumsachse angibt,  $S(y)$  die Entfernung (das Ausmaß des Durchhängens) entlang der Zentrumsachse von der Tangentenebene der Spitze jeder asphärischen Oberfläche in der Höhe  $y$  zur jeweiligen asphärischen Oberfläche,  $r$  den Bezugskrümmungsradius (Krümmungsradius an der Spitze), und  $K$  den Konizitätskoeffizienten.

In der folgenden Tabelle gibt  $\kappa$  den Konizitätskoeffizienten jeder Linsenoberfläche an. Die Größe ( $d_1 \times d_2$ ) jeder Linsenoberfläche ist am rechten Ende der Tabelle angegeben. Bei dem folgenden Zahlenbeispiel ist die Einheit beispielsweise mm.

$$f = 1,336(\text{mm}), \lambda = 248(\text{nm})$$

TABELLE

	$r$	$d$	$n$	$\kappa$	$d_1 \times d_2$
(1)	1,76000	1,00000	1,50839	-2,5	0,486 x 0,18 (mm)
(2)	-1,76000	0,40000		-2,5	0,486 x 0,18 (mm)
(3)	1,76000	1,00000	1,50839	-2,5	0,486 x 0,18 (mm)
(4)	-1,29200	0,18542		-2,5	0,375 x 0,18 (mm)

Die wie voranstehend geschildert ausgebildeten Mikrofliegenaugenlinsen genügen den folgenden Ausdrücken 2:

$$\frac{d_1}{\lambda} \times \frac{D_1}{f} = 137,5$$

5

$$\frac{d_2}{\lambda} \times \frac{D_2}{f} = 24,4$$

10

Daher kann eine gleichmäßige Leuchtdichtevertellung im wesentlichen über dem gesamten Beleuchtungsgebiet erhalten werden, das entsprechend dem voranstehend angegebenen Zahlenbeispiel ausgebildet wird.

Bei dem voranstehend geschilderten Zahlenbeispiel nimmt die sphärische Aberration den Wert  $-0,0021$  an, beträgt die Abweichung von der Sinusbedingung  $0,0051$ , und wird das Koma gleich  $-0,0004$ . Man ersieht hieraus, daß bei dem voranstehend angegebenen Zahlenbeispiel, bei welchem asphärische Oberflächen verwendet werden, nicht nur das Auftreten der sphärischen Aberration verhindert wird, sondern auch in vorteilhafter Weise das Auftreten von Koma unterdrückt wird, und zwar dadurch, daß die Sinusbedingung im wesentlichen erfüllt wird.

15

Daher wird eine sekundäre Lichtquelle, die aus einer Anzahl an Lichtquellen besteht, an der bildseitigen Brennebene des optischen Integrierers 33 ausgebildet. Der Lichtstrahl von der Sekundärlichtquelle wird durch eine Aperturblende 34 beschränkt, die in der Nähe der bildseitigen Brennebene des optischen Integrierers 33 angeordnet ist, und fällt dann auf eine zweite Kondensorlinse 35 auf. Der Lichtstrahl, der durch die zweite Kondensorlinse 35 gesammelt wird, geht durch einen rechteckigen Öffnungsschnitt einer Beleuchtungssehhfeldblende 36 hindurch, und beleuchtet eine Maske M mittels Überlagerung mit Hilfe eines Bilderzeugungsoptiksystems 37. Daher wird eine rechteckige Beleuchtungsfläche, entsprechend der Querschnittsform jeder Mikrolinse des optischen Integrierers 33, auf der Maske M ausgebildet. Eine Aperturblende 38 zum Abblocken unnötigen Lichtes, welches Blendung und dergleichen hervorrufen würde, ist in der Nähe der Pupillenebene des Bilderzeugungsoptiksystems 37 vorgesehen.

20

25

Die Maske M wird auf einer Maskenstufe (nicht dargestellt) gehalten, die entlang einer Maskenoberfläche in zwei Dimensionen bewegbar ist. Die Positionskoordinaten der Maskenstufe werden von einem Interferometer (nicht dargestellt) gemessen, und bezüglich der Position gesteuert. Ein Lichtstrahl, der durch das Muster der Maske M hindurchgelassen wird, erzeugt ein Bild des Maskenmusters auf einem Wafer W, der ein lichtempfindliches Substrat ist, mit Hilfe eines optischen Projektionssystems PL. Der Wafer W wird auf einer Waferstufe (nicht dargestellt) gehalten, die in zwei Dimensionen entlang einer Waferoberfläche bewegt werden kann. Die Positionskoordinaten der Waferstufe werden von einem Interferometer (nicht dargestellt) gemessen, und bezüglich der Position gesteuert.

30

35

Wenn daher eine Sammelbelichtung oder Abtastbelichtung durchgeführt wird, während der Wafer W zweidimensional angetrieben wird, und innerhalb einer Ebene orthogonal zur optischen Achse des optischen Projektionssystems PL gesteuert wird, werden einzelne Belichtungsflächen der Platte W hintereinander mit dem Muster der Maske M belichtet. Bei der Sammelbelichtung werden die einzelnen Belichtungsflächen des Wafers W zusammen mit dem Maskenmuster belichtet, entsprechend der sogenannten Stufen-Wiederholungstechnik. Bei der Abtastbelichtung wird andererseits eine Belichtung unter Abtastung durchgeführt, während die Maske M und der Wafer W in Bezug auf das optische Projektionssystem PL bewegt werden, und zwar entlang einer Richtung (Abtastrichtung), welche optisch der Richtung der kürzeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche des optischen Integrierers 33 entspricht, mit der sogenannten Stufen-Abtast-Technik, wodurch einzelne Belichtungsflächen des Wafers W hintereinander mit dem Muster der Maske M belichtet werden.

40

45

Bei der vierten Ausführungsform ist der optische Integrierer 33 so ausgebildet, daß er zumindest eine der voranstehend angegebenen Bedingungen (6) und (7) erfüllt. Die Breite von Randabschnitten kann klein gehalten werden, in denen die Leuchtdichte abnimmt, wodurch eine gleichmäßige Leuchtdichtevertellung im wesentlichen über der gesamten Beleuchtungsfläche erzielt werden kann, die auf der Maske ausgebildet wird, also der zu beleuchtenden Oberfläche, und daher über der gesamten Belichtungsfläche auf dem Wafer W, also der zu beleuchtenden Oberfläche. Wenn der optische Integrierer 33 so ausgebildet ist, daß er zumindest eine der Bedingungen (6') und (7') erfüllt, so kann die Breite von Randabschnitten, in denen die Leuchtdichte abnimmt, kleiner gehalten werden, wodurch eine noch gleichmäßigere Leuchtdichtevertellung im wesentlichen über der gesamten Beleuchtungsfläche erhalten werden kann.

50

Bei der Durchführung der Abtastbelichtung in der Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der vierten Ausführungsform wird die Leuchtdichtevertellung entlang der Abtastrichtung (jener Richtung, welche optisch der Richtung der kürzeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche des optischen Integrierers 33 entspricht) durch die Auswirkung der Abtastbelichtung gemittelt, wobei es vorzuziehen ist, daß die Bedingung (6) in Bezug auf die Richtung der längeren Seite der rechteckigen Eintrittsoberfläche des optischen Integrierers 33 unter den Bedingungen (6) und (7) erfüllt ist. Entsprechend ist es weiterhin vorzuziehen, wenn die Abtastbelichtung bei der vierten Ausführungsform durchgeführt wird, daß die Bedingung (6') erfüllt ist.

55

60

Im Falle der Abtastbelichtung unter Verwendung einer gepulst oszillierenden Lichtquelle, beispielsweise bei der Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der vierten Ausführungsform, ist es vorzuziehen, daß sich die Phasendifferenz des Beleuchtungslichts zwischen jeweils zwei benachbarten Mikrolinsen in dem optischen Integrierer 33 statistisch pro Impuls ändert. Wenn mit  $NA_2$  die numerische Apertur des einfallenden Lichtstrahls bezeichnet ist, und mit  $d_2$  die Größe der Mikrolinse entlang der Abtastrichtung, wie dies in Fig. 10 gezeigt ist, so beträgt der Kohärenzbereich an der Eintrittsoberfläche  $\lambda/NA_2$ , wodurch die Beleuchtung mit einer Anzahl von  $d_2/\lambda/NA_2$  von Gruppen von Phasendifferenzen durchgeführt wird. Es ist erforderlich, daß die Anzahl dieser Gruppen zumindest 10 beträgt, also die folgende Bedingung (8) erfüllt ist. Weiterhin ist es wünschenswert, daß die Untergrenze der Bedingung größer ist als die Anzahl an

65



Impulsen (die gewöhnlich 30 bis 60 beträgt).

$$10 < d_2/(\lambda NA_2) \quad (8)$$

- 5 Obwohl die vorliegende Erfindung bei optischen Beleuchtungseinrichtungen für Mikroskope und Photolithographie-Belichtungseinrichtungen bei den voranstehend geschilderten Ausführungsformen eingesetzt wird, ist dies nicht einschränkend zu verstehen, und daher die vorliegende Erfindung auch bei anderen üblichen optischen Beleuchtungseinrichtungen einsetzbar.

Bei den voranstehend geschilderten dritten und vierten Ausführungsformen kann der Lichtstrahl aus Randbereichen, in denen die Leuchtdichte abnimmt, in dem Beleuchtungsgebiet, das an der bildseitigen Brennebene der Kondensorlin-  
 10 sen 25 und 35 ausgebildet wird, durch die Aperturblen- den 24 und 34 abgeblockt werden, oder auch nicht. Wird der Lichtstrahl aus den Randbereichen abgeblockt, so kann der Verlust der Lichtenergiemenge niedrig gehalten werden, da die Breite von Randbereichen, in denen die Leuchtdichte abnimmt, gemäß der vorliegenden Erfindung klein gehalten wird.

Wie voranstehend erläutert kann mit dem optischen Integrierer gemäß der vorliegenden Erfindung eine gleichmäßige Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über dem gesamten ausgebildeten Beleuchtungsgebiet erzielt werden, selbst wenn die Größe jeder Mikrolinse klein gewählt wird, so daß die Wellenfrontunterteilungsanzahl größer gewählt wird. Die optische Beleuchtungseinrichtung, bei welcher der optische Integrierer gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehen ist, kann daher die zu beleuchtende Oberfläche mit einer gleichförmigen Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über der gesamten Oberfläche bestrahlen. Weiterhin kann die Photolithographie-Belichtungseinrichtung, welche die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung aufweist, eine Maske mit einer gleichmäßigen Leuchtdichteverteilung im wesentlichen über der gesamten Maske beleuchten, so daß feine Muster der Maske übertragen werden können.

#### Fünfte Ausführungsform

25 Die Belichtungsprojektionseinrichtung gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf Fig. 11 erläutert. Fig. 11 zeigt schematisch eine Belichtungsprojektionseinrichtung, die mit einer optischen Beleuchtungseinrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung versehen ist. Bei der in Fig. 11 gezeigten Belichtungsprojektionseinrichtung ist die optische Beleuchtungseinrichtung so ausgebildet, daß sie eine konventionelle, kreisförmige Beleuchtung durchführt.

Die Belichtungsprojektionseinrichtung ist mit einer Excimerlaser-Lichtquelle zum Liefern von Licht mit beispielsweise einer Wellenlänge von 248 nm oder 193 nm versehen, die als Lichtquelle 101 zum Liefern von Belichtungslicht (Beleuchtungslicht) dient. Ein im wesentlichen paralleler Lichtstrahl, der von der Lichtquelle 101 entlang einer optischen Bezugsachse AX ausgesandt wird, wird in einen Lichtstrahl umgewandelt, der einen gewünschten, rechteckigen Querschnitt aufweist, mit Hilfe eines optischen Strahlformungssystems (nicht dargestellt), und trifft auf eine optische Verzögerungseinheit 102 auf.

Der Lichtstrahl, der entlang der optischen AX auf die optische Verzögerungseinheit 102 auftrifft, wird in einen Lichtstrahl, der durch einen Halbspiegel 120 hindurchgeht, und einen Lichtstrahl aufgeteilt, der von dem Halbspiegel 120 reflektiert wird. Der von dem Halbspiegel 120 reflektierte Lichtstrahl wird danach durch vier reflektierende Spiegel (nicht dargestellt) abgelenkt, die so angeordnet sind, daß sie beispielsweise einen rechteckigen optischen Verzögerungsweg bilden, und kehrt dann zum Halbspiegel 120 zurück. Der Lichtstrahl, der von dem Halbspiegel 120 reflektiert wird, nachdem er einmal den optischen Verzögerungsweg durchlaufen hat, wird entlang der optischen Achse AX ebenso wie jener Lichtstrahl ausgesandt, der durch den Halbspiegel 120 hindurchgegangen ist, ohne den optischen Verzögerungsweg durchlaufen zu haben, wodurch eine optische Weglängendifferenz, die gleich der optischen Weglänge des optischen Verzögerungsweges ist, zwischen den beiden Lichtstrahlen zur Verfügung gestellt wird.

Der Lichtstrahl, der auf die optische Verzögerungseinheit 102 entlang der optischen Achse AX einfällt, wird daher zeitlich in mehrere Lichtstrahlen aufgeteilt, wodurch eine optische Weglängendifferenz, die gleich der optischen Weglänge des optischen Verzögerungsweges ist, zwischen den beiden Lichtstrahlen zur Verfügung gestellt wird, die sich zeitlich kontinuierlich aneinander anschließen. Die optische Weglängendifferenz, die so zur Verfügung gestellt wird, wird auf den zeitlichen Kohärenzabstand des Lichtstrahls von der kohärenten Lichtquelle 101 oder größer eingestellt. Daher kann die Kohärenz (die Kohärenzeigenschaften) in dem Wellenzug verringert werden, der durch die optische Verzögerungseinheit 102 unterteilt wird, wodurch das Auftreten von Interferenzstreifen und Flecken in der zu beleuchtenden Oberfläche in vorteilhafter Weise eingeschränkt werden kann. Um das Auftreten von Flecken zu unterdrücken ist es vorzuziehen, daß optische Verzögerungseinheiten, beispielsweise jene, die voranstehend beschrieben wurde, in drei Stufen entlang der optischen Achse AX angeordnet sind. Weitere Einzelheiten in Bezug auf den Aufbau und den Betriebsablauf bei einer derartigen optischen Verzögerungsvorrichtung sind in dem Text, den Zeichnungen usw. der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 1-198759, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 11-174365, und der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-223405 (US Serien-Nr. 09/300660) beschrieben, als Beispiel.

Die Lichtstrahlen, die in zeitlich nicht kohärente, mehrere Pulse durch die optische Verzögerungseinheit 102 aufgeteilt werden, treffen auf ein optisches Beugungselement (DOE) 131 auf. Im allgemeinen ist das optische Beugungselement so ausgebildet, daß Stufen in einem Glassubstrat mit einem Teilungsabstand in der Größenordnung der Wellenlänge des Belichtungslichts (Beleuchtungslichts) ausgebildet werden, und dient dazu, einfallende Strahlen in einen gewünschten Winkel zu beugen. Genauer gesagt wandelt das optische Beugungselement 131 für kreisförmige Beleuchtung einen im wesentlichen parallelen, rechteckigen Lichtstrahl, der entlang der optischen Achse AX einfällt, in einen divergenten Lichtstrahl um, der einen kreisförmigen Querschnitt aufweist. Da das optische Beugungselement dazu wirksam ist, das Auftreten von Interferenzstreifen und Flecken in der zu beleuchtenden Oberfläche zu verringern, kann gegebenenfalls die optische Verzögerungseinheit 102 auch weggelassen werden.

Der kreisförmige, divergente Lichtstrahl, der sich über das optische Beugungselement 131 ausgebreitet hat, wird über

eine Zoomlinse 104 übertrage als ein erstes optisches Kondensorsystem dient, um auf eine Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrfache Lichtquellenbilder auf, die durch ein Paar von Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 gebildet wird. Daher wird ein kreisförmiges Beleuchtungsgebiet an der Eintrittsoberfläche der Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrfache Lichtquellenbilder ausgebildet (also an der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Seite der Lichtquelle). Die Größe des so erzeugten Beleuchtungsgebiets (also dessen Durchmesser) ändert sich in Abhängigkeit von der Brennweite der Zoomlinse 104.

Um zu verhindern, daß die Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 und die Austrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 152 durch photochemische Reaktionen verunreinigt werden, ist ein Paar planparalleler Platten 153 und 154 als Abdeckgläser neben der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 bzw. der Austrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 152 vorgesehen. Selbst wenn eine Verunreinigung infolge einer photochemischen Reaktion hervorgerufen wird, ist es daher ausreichend, wenn nur das Paar der Deckgläser 153 und 154 ausgetauscht wird, ohne das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151, 152 austauschen zu müssen, die so angeordnet und eingestellt sind, wie dies nachstehend noch genauer erläutert wird.

Fig. 12A zeigt schematisch den Aufbau einer Erzeugungsvorrichtung für mehrere Lichtquellenbilder, die in einer Beleuchtungsprojektionsvorrichtung enthalten ist, wobei die Ausbildung jeder Mikrofliegenaugenlinse bei Betrachtung entlang der optischen Achse AX dargestellt ist, während Fig. 12B den Betriebsablauf und Querschnittsformen eines Paares von Mikrofliegenaugenlinsen erläutert.

Die beiden Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 weisen denselben Aufbau auf, und stellen jeweils ein optisches Element dar, das aus einer Anzahl rechteckiger Mikrolinsenelemente 150c besteht, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen, und dicht gepackt matrixförmig angeordnet sind, wie dies in den Fig. 12A und 12B gezeigt ist. Jede der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 wird dadurch hergestellt, daß eine quadratische, planparallele Glasplatte 150a so geätzt wird, daß die Mikrolinsengruppe 150c in einer kreisförmigen Fläche 150b ausgebildet wird.

Im allgemeinen ist jedes von Mikrolinsenelementen (jedes von optischen Mikroelementen), welche eine Mikrofliegenaugenlinse (ein optisches Elementenbündel) bilden, kleiner als jedes der Linsenelemente, die eine Fliegenaugenlinse bilden. Anders als bei der Fliegenaugenlinse, die aus Linsenelementen besteht, die voneinander getrennt sind, wird eine Anzahl an Mikrolinsenelementen einstückig ausgebildet, ohne daß sie in dem Mikrofliegenaugenlinse voneinander getrennt sind. Das Mikrofliegenaugenlinse und die Fliegenaugenlinse weisen jedoch die Gemeinsamkeit auf, daß Linsenelemente, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen, in einer Matrix angeordnet sind. Die Anzahl an Mikrolinsenelementen, welche die Mikrofliegenaugenlinsen bilden, die in den Fig. 11, 12A und 12B gezeigt sind, ist erheblich kleiner als die tatsächliche Anzahl, um die Zeichnungen zu vereinfachen.

Es ergibt sich daher, daß der Lichtstrahl, der auf das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 auffällt, zweidimensional durch eine Anzahl von Mikrolinsenelementen unterteilt wird. Wie dies in Fig. 12B mit durchgezogenen Linien dargestellt ist, wird dann eine Lichtquelle an der bildseitigen Brennebene eines vereinigten optischen Systems ausgebildet, das aus einem Paar von Mikrolinsenelementen 151a und 152a besteht, die einander entsprechen, entlang der optischen Achse AX in dem Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 (also nahe der Austrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 152, welche der zu beleuchtenden Oberfläche gegenüberliegt). Wie dies in Fig. 12B mit gestrichelten Linien dargestellt ist, ist das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 so ausgebildet, daß ihre objektseitige Brennebene mit der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Lichtquellenseite übereinstimmt.

Daher wird eine Anzahl an Lichtquellen (nachstehend als "sekundäre Lichtquellen" bezeichnet), die eine kreisförmige Form aufweisen, die identisch zur Form des Beleuchtungsgebietes ist, das an der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Lichtquellenseite ausgebildet wird, an der bildseitigen Brennebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 ausgebildet. Das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 bildet daher einen optischen Integrator des Wellenfrontunterteilungstyps, und daher eine Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen, um eine Anzahl an Lichtquellen entsprechend einem Lichtstrahl von der Lichtquelle 101 auszubilden.

Vorzugsweise ändert die Zoomlinse 104 kontinuierlich ihre Brennweite über einen Bereich von 3 : 1, zum Beispiel, damit ihre objektseitige Brennebene und die Beugungsoberfläche des optischen Beugungselements 131 zusammenfallen, und damit ihre bildseitige Brennebene und die Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 zusammenfallen. Es ist vorzuziehen, daß die Zoomlinse 104 drei Linsengruppen umfaßt, die unabhängig voneinander entlang der optischen Achse bewegt werden können.

Ein Lichtstrahl von der kreisförmigen, sekundären Lichtquelle, der an der bildseitigen Brennebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 ausgebildet wird, trifft auf eine Irisblende 106 auf, die in der Nähe angeordnet ist. Die Irisblende 106 ist eine Beleuchtungsaperturblende, die einen im wesentlichen kreisförmigen Öffnungsabschnitt (Lichtdurchlaßabschnitt) aufweist, der auf der optischen Achse AX zentriert ist, und so ausgebildet ist, daß sie kontinuierlich ihren Öffnungsdurchmesser ändert, während die Kreisform im wesentlichen beibehalten wird.

Das optische Beugungselement 131 ist so ausgebildet, daß es frei in den optischen Beleuchtungsweg eingefügt und aus diesem zurückgezogen werden kann, und kann wahlweise durch ein optisches Beugungselement 132 für eine ringförmig modifizierte Beleuchtung sowie ein optisches Beugungselement 133 für eine quadrupolar-modifizierte Beleuchtung ersetzt werden. Genauer gesagt sind die drei optischen Beugungselemente 131 bis 133 auf einem Revolverkopf (Drehplatte) 130 gehalten, der sich um eine vorbestimmte Achse parallel zur optischen Achse AX drehen kann. Der Betriebsablauf bei dem optischen Beugungselement 132 für eine ringförmig modifizierte Beleuchtung und bei dem optischen Beugungselement 133 für eine quadrupolar-modifizierte Beleuchtung werden nachstehend genauer geschildert.

Die Umschaltung zwischen dem optischen Beugungselement 131 für kreisförmige Beleuchtung, dem optischen Beugungselement 132 für eine ringförmig abgeänderte Beleuchtung, und dem optischen Beugungselement 133 für eine quadrupolar-modifizierte Beleuchtung wird durch ein erstes Antriebssystem 122 bewirkt, welches entsprechend einem Befehl von einem Steuersystem 121 arbeitet. Die Brennweite der Zoomlinse 104 wird durch ein zweites Antriebssystem 123 geändert, welches entsprechend einem Befehl von dem Steuersystem 121 arbeitet. Der Öffnungsdurchmesser der Irisblende 106 wird durch ein drittes Antriebssystem 124 geändert, welches entsprechend einem Befehl von dem Steuersystem 121 arbeitet.

Mit dem von der Sekundärlichtquelle über die Irisblende 106, die einen kreisförmigen Öffnungsabschnitt aufweist, übertragenen Licht wird ein Lichtsammelvorgang einer Zoomlinse 107 durchgeführt, die als ein zweites optisches Kondensorsystem dient, und dann beleuchtet dieses Licht mittels Überlagerung eine vorbestimmte Oberfläche, die optisch konjugiert zu einer Maske 110 angeordnet ist, die nachstehend noch genauer erläutert wird. Die Zoomlinse 107 ist eine  $f_{\sin\theta}$ -Linse, die so ausgebildet ist, daß sie die Sinusbedingung erfüllt (und daher das Auftreten von Koma unterdrückt). An dieser vorbestimmten Oberfläche wird daher ein rechteckiges Beleuchtungsgebiet ausgebildet, welches der Form jedes Mikrolinsenelementes gleicht, welches die Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 bildet. Die Größe des rechteckigen Beleuchtungsgebiets, das an dieser vorbestimmten Oberfläche erzeugt wird, und die Beleuchtungs-NA ändern sich in Abhängigkeit von der Brennweite der Zoomlinse 107.

Vorzugsweise ändert die Zoomlinse 107 kontinuierlich ihre Brennweite auf solche Weise, daß ihre objektseitige Brennebene und die bildseitige Brennebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 miteinander übereinstimmen, während ihre bildseitige Brennebene und die voranstehend erwähnte vorbestimmte Oberfläche zusammenfallen. Wie bei der Zoomlinse 104 ist es auch bei der Zoomlinse 107 vorzuziehen, daß sie drei Linsengruppen aufweist, die unabhängig voneinander entlang der optischen Achse bewegt werden können. Daher ist die Zoomlinse 107 so ausgebildet, daß sie kontinuierlich ihre Brennweite über einen vorbestimmten Bereich ändern kann, und ihre Brennweite wird durch ein viertes Antriebssystem 125 geändert, welches entsprechend einem Befehl von dem Steuersystem 121 arbeitet.

An einer vorbestimmten Ebene, die optisch konjugiert zur Maske 110 angeordnet ist, ist ein Maskenschirm 108 als Beleuchtungsfeldblende vorgesehen. Der Lichtstrahl, der durch den Öffnungsabschnitt (Lichtdurchlaßabschnitt) des Maskenschirms 108 hindurchgeht, wird durch ein optisches Übertragungssystem 109 gesammelt, und beleuchtet dann mittels Überlagerung die Maske 110, die ein vorbestimmtes Muster aufweist. Das optische Übertragungssystem 109 erzeugt daher ein Bild des rechteckigen Öffnungsabschnitts des Maskenschirms 108 auf der Maske 110.

Der Lichtstrahl, der durch das Muster der Maske 110 hindurchgelassen wird, erzeugt ein Bild des Maskenmusters auf einem Wafer (oder einer Platte) 112, welches ein lichtempfindliches Substrat, also ein Werkstück ist, mit Hilfe eines optischen Projektionssystems 111. Der Wafer 112 wird auf einer Waferstufe 113 gehalten, die zweidimensional innerhalb einer Ebene bewegt werden kann, die orthogonal zur optischen Achse AX des optischen Projektionssystems 111 verläuft. Wenn daher eine Sammelbelichtung oder eine Abtastbelichtung durchgeführt wird, während der Wafer 112 in zwei Dimensionen angetrieben und gesteuert wird, werden einzelne Belichtungsbereiche (Aufnahmebereiche) des Wafers 112 hintereinander mit dem Muster der Maske 110 belichtet.

Bei dem Sammelbelichtungsverfahren werden die einzelnen Belichtungsbereiche des Wafers zusammen mit dem Maskenmuster belichtet, entsprechend dem sogenannten Stufen-Wiederholungsverfahren. In diesem Fall weist die Beleuchtungsfläche auf der Maske 110 eine nahezu quadratische, rechteckige Form auf, und weist ebenfalls jedes der Mikrolinsenelemente in dem Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 eine nahezu quadratische, rechteckige Form auf.

Andererseits werden bei dem Abtastbelichtungsverfahren die einzelnen Belichtungsbereiche des Wafers mit dem Maskenmuster durch Abtastung belichtet, während die Maske und der Wafer in Bezug auf das optische Projektionssystem bewegt werden, nach dem sogenannten Stufen-Abtastverfahren. In diesem Fall weist beispielsweise der Beleuchtungsbereich auf der Maske 110 eine rechteckige Form auf, bei welcher das Verhältnis der kürzeren Seite zur längeren Seite 1 : 3 ist, und weist jedes der Mikrolinsenelemente des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 eine entsprechende, rechteckige Form auf.

Wenn die Brennweite der Zoomlinse 107 bei dieser Ausführungsform geändert wird, dann ändert sich die Größe des Beleuchtungsbereichs, der auf der Musteroberfläche der Maske 110 erzeugt wird, und entsprechend die Größe des Belichtungsbereiches, der an der Belichtungsfläche des Wafers 112 ausgebildet wird. Wenn sich die Brennweite der Zoomlinse 107 ändert, ändert sich auch die Beleuchtungs-NA in der Musteroberfläche der Maske 110.

Wenn sich andererseits die Brennweite der Zoomlinse 104 ändert, so ändert sich die Beleuchtungs-NA auf der Maske 110, ohne daß die Größe des Beleuchtungsbereiches geändert wird, der an der Musteroberfläche der Maske 110 ausgebildet wird.

Wenn daher die Brennweite der Zoomlinse 107 auf einen vorbestimmten Wert eingestellt ist, so kann bei der vorliegenden Ausführungsform eine gewünschte Größe des Beleuchtungsbereiches auf der Maske 110 erhalten werden, und daher eine gewünschte Größe des Belichtungsbereiches auf dem Wafer 112.

Wenn die Brennweite der Zoomlinse 104 auf einen vorbestimmten Wert in Bezug auf die Brennweite der Zoomlinse eingestellt wird, die auf einen vorbestimmten Wert eingestellt ist, dann kann eine gewünschte Größe der Beleuchtungs-NA auf der Maske 110 erhalten werden, und daher eine Einstellung auf einen gewünschten Wert von  $\sigma$  erfolgen.

Wie dies bereits erwähnt wurde, ist das optische Beugungselement 131 so ausgebildet, daß es frei in den optischen Belegungsweg eingefügt und daraus zurückgezogen werden kann, und je nach Wunsch durch das optische Beugungselement 132 für eine ringförmig abgeänderte Beleuchtung und das optische Beugungselement 133 für eine quadrupolar abgeänderte Beleuchtung ausgetauscht werden kann.

Nunmehr werden die ringförmig modifizierte Beleuchtung und die quadrupolar-modifizierte Beleuchtung beschrieben, die erhalten werden, wenn statt des optischen Beugungselements 131 das optische Beugungselement 132 bzw. 133 in den optischen Belegungsweg eingesetzt wird.

Das optische Beugungselements 132 für eine ringförmig modifizierte Beleuchtung wandelt einen parallelen Lichtstrahl, der einen rechteckigen Querschnitt aufweist, und entlang der optischen Achse AX einfällt, in einen ringförmig divergenten Lichtstrahl um. Der ringförmig divergente Lichtstrahl, der mit dem optischen Beugungselement 132 erhalten wird, wird über die Zoomlinse 104 übertragen, und trifft auf das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 auf. Daher wird ein ringförmiges Beleuchtungsgebiet an der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Lichtquellenseite erzeugt. Dies führt dazu, daß eine zweite Lichtquelle, die eine Ringform aufweist, die gleich jener des Beleuchtungsgebietes ist, das an der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Lichtquellenseite ausgebildet wird, an der bildseitigen Brennebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 ausgebildet, wodurch eine ringförmig abgeänderte Beleuchtung entsprechend dem Lichtstrahl von dieser ringförmigen Sekundärlichtquelle durch-

geführt werden kann.

Andererseits wandelt das optische Beugungselement 133 für eine quadrupolar-modifizierte Beleuchtung einen parallelen Lichtstrahl, der einen rechteckigen Querschnitt aufweist, und entlang der optischen Achse AX einfällt, in einen quadrupolar divergenten Lichtstrahl um. Der quadrupolar divergente Lichtstrahl, der durch das optische Beugungselement 133 erhalten wird, wird durch die Zoomlinse 104 übertragen, und trifft dann auf das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 auf. Daher wird ein quadrupolares Beleuchtungsgebiet an der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Lichtquellenseite erzeugt. Dies führt dazu, daß eine zweite Lichtquelle, die eine quadrupolare Form aufweist, die gleich jener des Beleuchtungsgebietes ist, das an der Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Lichtquellenseite ausgebildet wird, an der bildseitigen Brennebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 ausgebildet wird, wodurch eine quadrupolar-modifizierte Beleuchtung entsprechend dem Lichtstrahl von dieser quadrupolaren, sekundären Lichtquelle durchgeführt werden kann.

Die optischen Beugungselemente 131 bis 133 bilden daher Vorrichtungen zur Änderung der optischen Intensitätsverteilung zum Ändern der optischen Intensitätsverteilung des Lichtstrahls, der auf die Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen einfällt.

Bei der vorliegenden Ausführungsform wird eine asphärische Oberfläche bei einer brechenden Oberfläche jedes der Mikrolinsenelemente verwendet, die das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 bilden. Dieser Gesichtspunkt wird nunmehr unter Bezugnahme auf ein Paar von Mikrolinsenelementen 151a und 152 erläutert, die einander entlang der optischen Achse AX in dem Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 entsprechen.

Wie in Fig. 12B gezeigt ist, weist das Mikrolinsenelement 151a eine bikonvexe Form auf, die durch eine brechende Oberfläche m1 gebildet wird, welche der Lichtquelle gegenüberliegt, und eine brechende Oberfläche m2, die der zu beleuchtenden Oberfläche gegenüberliegt, während das Mikrolinsenelement 152a eine bikonvexe Form aufweist, die durch eine brechende Oberfläche m3, welche der Lichtquelle gegenüberliegt, und eine brechende Oberfläche m4 gebildet wird, welche der zu beleuchtenden Oberfläche gegenüberliegt.

Bei dieser Ausführungsform ist zumindest eine der voranstehend erwähnten, vier brechenden Oberflächen m1 bis m4 als asphärische Oberfläche ausgebildet, die symmetrisch zu einer Achse (Zentrumsachse) parallel zur optischen Achse AX ausgebildet ist. Da die Anzahl an Parametern für die optische Konstruktion zunimmt, wenn wie im vorliegenden Fall eine asphärische Oberfläche vorgesehen wird, wird es einfacher, eine gewünschte konstruktive Lösung zu erreichen, wodurch sich das Ausmaß der konstruktiven Freiheit wesentlich erhöht, insbesondere im Hinblick auf die Korrektur der Aberration. Bei einem vereinigten optischen System, das aus einem Paar von Mikrolinsenelementen 151a und 152a besteht, kann nicht nur das Auftreten der sphärischen Aberration verringert werden, sondern auch das Auftreten von Koma unterdrückt werden, da die Sinusbedingung im wesentlichen erfüllt ist. Dies führt dazu, daß bei der vorliegenden Ausführungsform die Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellenbilder, die durch das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 gebildet wird, im wesentlichen die Sinusbedingung erfüllt, so daß in vorteilhafter Weise das Auftreten einer ungleichförmigen Beleuchtung infolge der Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen beschränkt wird, so daß gleichzeitig eine gleichförmige Beleuchtung der zu beleuchtenden Oberfläche und eine Gleichförmigkeit der numerischen Apertur sichergestellt werden können.

Der Betriebsablauf bei dieser Ausführungsform wird nun anhand eines speziellen Zahlenbeispiels für das Paar der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 erläutert. Bei dem folgenden Zahlenbeispiel wird angenommen, als Ausführungsform mit hoher Produktivität, daß die vier brechenden Oberflächen m1 bis m4 als asphärische Oberfläche mit exakt derselben Form ausgebildet sind.

Zuerst wird bei dem Zahlenbeispiel die Größe jedes Mikrolinsenelements auf 0,54 mm × 0,2 mm eingestellt, und der Brechungsindex n jedes Mikrolinsenelements in Bezug auf das Beleuchtungslicht auf 1,508. Dann wird sowohl die axiale Dicke d<sub>1</sub> des Mikrolinsenelements 151a als auch die axiale Dicke d<sub>3</sub> des Mikrolinsenelements 152a auf 1,3 mm eingestellt, während der Luftzwischenraum d<sub>2</sub> zwischen einem Paar von Mikrolinsenelementen 151a und 152a auf 0,53 mm eingestellt wird.

Wie voranstehend geschildert, sind die vier brechenden Oberflächen m1 bis m4 als asphärische Oberflächen mit identischen Eigenschaften ausgebildet. Die asphärischen Oberflächen werden durch den folgenden Ausdruck beschrieben:

$$S(Y) = \{y^2/r\} / \{(1 + (1 - \kappa \cdot y^2/r^2))^{1/2}\}$$

wobei y die Höhe in Richtung senkrecht zur Zentrumsachse ist, S(y) die Entfernung (das Ausmaß des Durchhängens) entlang der Zentrumsachse von der Tagentenebene der Spitze jeder asphärischen Oberfläche an der Höhe y zur jeweiligen asphärischen Oberfläche, r der Bezugsradius der Krümmung (Radius der Krümmung an der Spitze), und  $\kappa$  der Konizitätskoeffizient.

Im einzelnen wird der Krümmungsradius r<sub>1</sub> an der Spitze der brechenden Oberfläche m1 des Mikrolinsenelements 151a und der Krümmungsradius r<sub>3</sub> an der Spitze der brechenden Oberfläche m3 des Mikrolinsenelements 151a auf 2,091 (mm<sup>-1</sup>) eingestellt. Andererseits wird der Krümmungsradius r<sub>2</sub> an der Spitze der brechenden Oberfläche m2 des Mikrolinsenelements 151a und der Krümmungsradius r<sub>4</sub> an der Spitze der brechenden Oberfläche m4 des Mikrolinsenelements 152a auf -2,091 (mm<sup>-1</sup>) eingestellt. Die Konizitätskonstante  $\kappa$  ist bei jeder der brechenden Oberflächen m1 bis m4 auf -2,49 eingestellt.

Die Brennweite des Mikrolinsenelements 151a sowie die Brennweite des Mikrolinsenelements 152a wird jeweils gleich 2,29 mm, wodurch die vereinigte Brennweite der Mikrolinsenelemente 151a und 152a gleich 1,7 mm wird.

Bei der Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen, die aus dem wie geschildert aufgebauten Paar von Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 besteht, wird die sphärische Aberration gleich -0,025, das Ausmaß der Abweichung von der Sinusbedingung gleich -0,002, und das Koma gleich -0,005. Hieraus ersieht man, daß bei dem voranstehend geschilderten Zahlenbeispiel das Vorsehen von asphärischen Oberflächen nicht nur das Auftreten der sphärischen Aberration einschränkt, sondern auch in vorteilhafter Weise das Auftreten von Koma unterdrückt, da die Sinusbedingung im wesentlichen erfüllt ist.

In Fig. 12A ist der Durchgang durch der kreisförmigen Fläche 150b, die durch die Mikrolinsenelemente 150c gebildet wird, so festgelegt, daß sie dem Maximalwert von  $\sigma$  entspricht, der eingestellt werden soll, und wird beispielsweise auf etwa 86 mm eingestellt. Dies führt dazu, daß dann, wenn die Größe des Mikrolinsenelements 150c auf 0,54 mm x 0,2 mm eingestellt wird, wie dies bei dem voranstehend angegebenen Zahlenbeispiel der Fall ist, die effektive Anzahl an Mikrolinsenelementen 150c, die innerhalb der kreisförmigen Fläche 150b vorhanden ist, annähernd 50.000 beträgt. In diesem Fall wird ein sehr starker Wellenfrontunterteilungseffekt in der Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen erzielt, wodurch das Auftreten einer ungleichförmigen Beleuchtung auf der Maske 110 verhindert werden kann, welche die zu beleuchtende Oberfläche darstellt, oder auf dem Wafer 112. Daher können Schwankungen der Ungleichförmigkeit der Leuchtdichte und Änderungen der Telezentrität selbst dann sehr gering gehalten werden, wenn eine Umschaltung der Beleuchtungsbedingungen erfolgt (Umschalten zwischen kreisförmiger Beleuchtung, ringförmig modifizierter Beleuchtung, und quadrupolarer Beleuchtung, Änderung von Beleuchtungsparametern, beispielsweise der Größe der Beleuchtungsfläche und des Wertes für  $\sigma$ , und dergleichen).

Da ein sehr starker Wellenfrontunterteilungseffekt in der Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen erhalten wird, ist es nicht erforderlich, daß eine Beleuchtungsaperturbende einen ringförmigen Öffnungsabschnitt oder einen quadrupolaren (im allgemeinen multipolaren) Öffnungsabschnitt aufweist, der an der Position der Irisblende 106 angeordnet sein muß, nach der ringförmig modifizierten Beleuchtung oder der quadrupolar-modifizierten Beleuchtung. Selbst wenn eine Umschaltung zwischen der kreisförmigen Beleuchtung, der ringförmig modifizierten Beleuchtung, und der quadrupolaren Beleuchtung durchgeführt werden soll, ist es daher ausreichend, wenn der Öffnungsdurchmesser der Irisblende 106 je nach Erfordernis geändert wird, um unnötige Lichtstrahlen wie beispielsweise Blendlicht abzuschirmen, ohne gleichzeitig die Umschaltung zwischen der kreisförmigen Beleuchtung, der ringförmig modifizierten Beleuchtung und der quadrupolaren Beleuchtung durchzuführen, wie das beim Stand der Technik der Fall ist. Anders ausgedrückt kann die Anordnung einer Beleuchtungsaperturbende, die als  $\sigma$ -Blende bekannt ist, weggelassen werden, wodurch die Anordnung vereinfacht werden kann.

Um einen ausreichenden Wellenfrontunterteilungseffekt gemäß der vorliegenden Erfindung zu erzielen wird es vorgezogen, daß die effektive Anzahl an Mikrolinsenelementen, welche eine Mikrofliegenaugenlinse bilden, 1000 oder mehr ist. Um den Wellenfrontunterteilungseffekt noch weiter zu erhöhen ist es vorzuziehen, daß die effektive Anzahl an Mikrolinsenelementen 50.000 oder mehr beträgt. Die effektive Anzahl an Mikrolinsenelementen, welche eine Mikrofliegenaugenlinse bilden, entspricht der Anzahl vereinigter optischer Systeme, und der Anzahl an Zentrumsachsen (optischen Achsen) einzelner Mikrolinsenelemente parallel zur optischen Achse AX, und daher der Anzahl an Wellenfrontunterteilungen der Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen.

Da bei der vorliegenden Ausführungsform die Erzeugungsvorrichtung 105 für mehrere Lichtquellen durch ein Paar von Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 gebildet wird, bei denen die Größe und Brennweite jedes Mikrolinsenelementes sehr klein sind, ist es wesentlich, daß ein Paar von Mikrolinsenelementen, das einander entspricht, entlang der optischen Achse AX in Bezug aufeinander positioniert wird, so daß die beiden Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 in Bezug aufeinander positioniert werden müssen. Insbesondere ist es erforderlich, daß ein Paar von Mikrolinsenelementen, die einander entsprechen sollen, so positioniert wird, daß keine zweidimensionale Translationsbewegung ihrer Positionen innerhalb einer Ebene orthogonal zur optischen Achse AX auftritt, und keine Drehung ihrer Positionen um die optische Achse AX innerhalb einer Ebene, die orthogonal zur optischen Achse AX liegt.

Daher ist, wie dies in Fig. 12A gezeigt ist, jedes der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 mit vier Ausrichtungsmarkierungen 150d versehen, die als Vorrichtung zum Positionieren des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 bei der vorliegenden Ausführungsform dienen. Die vier Ausrichtungsmarkierungen 150d werden so ausgebildet, daß beispielsweise Chrom an Positionen abgelagert wird, welche den vier Ecken eines Quadrats entsprechen, und zwar außerhalb der kreisförmigen Fläche 150b, die mit einer Anzahl von Mikrolinsenelementen 150c versehen ist, also außerhalb des optischen Beleuchtungsweges. Jede Ausrichtungsmarkierung 150d wird mit einer Ortsgenauigkeit von beispielsweise etwa 1  $\mu$ m hergestellt, wobei sie eine Größe von etwa 2 mm aufweist.

Die Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152, die wie geschildert mit den Ausrichtungsmarkierungen 150d versehen sind, werden durch ein Halteteil 155 gehalten, beispielsweise jenes, das in Fig. 13 gezeigt ist, und welches positioniert wird, während es an einem anderen Halteteil (nicht dargestellt) in dem optischen Beleuchtungsweg angebracht ist. Das Halteteil 155 ist mit einem kreisförmigen Öffnungsabschnitt 155a entsprechend der kreisförmigen Fläche 150b versehen, und mit vier kreisförmigen Öffnungsabschnitten 155b, welche den vier Ausrichtungsmarkierungen 150d entsprechen. Weiterhin ist ein Antriebssystem 156, welches beispielsweise aus mehreren Mikrometerschrauben besteht, mit dem Halteteil 155 verbunden. Durch die Betätigung des Antriebssystems 156 bewegt sich das Halteteil 155, das in dem optischen Beleuchtungsweg angeordnet ist, geringfügig entlang den Richtungen X und Y, und dreht sich geringfügig um die optische Achse AX.

Nach Anordnung des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 in Bezug aufeinander werden die vier Ausrichtungsmarkierungen, die in der Mikrofliegenaugenlinse 151 vorgesehen sind, sowie die vier Ausrichtungsmarkierungen, die in der Mikrofliegenaugenlinse 152 vorgesehen sind, mit dem unbewaffneten Auge oder mit einer Lupe oder einem Mikroskop betrachtet. Dann wird zumindest eines eines Paares von Halteteilen 155 geringfügig durch das Antriebssystem 156 so bewegt, daß Ausrichtungsmarkierungen 150d, die zueinander gehören, miteinander entlang der optischen Achse AX ausgerichtet sind. Daher können die beiden Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 in Bezug aufeinander angeordnet werden, was dazu führt, daß ein Paar von Mikrolinsenelementen, die einander entlang der optischen Achse AX entsprechen sollen, in Bezug aufeinander positioniert werden kann. Hierbei können beide Halteteile 155 bewegbar ausgebildet sein, oder kann eines der beiden Halteteile 155 bewegbar sein, wogegen das andere ortsfest ist.

Es kann ein anderes Positionierungsverfahren eingesetzt werden, bei welchem ein Winkelmeßgerät wie beispielsweise ein Autokollimator zur Betrachtung der Positionsabweichung zwischen zwei einander entsprechenden Mikrolinsenelementen verwendet wird. In diesem Fall werden, nachdem der Autokollimator anfänglich in einem Zustand eingestellt wurde, bei welchem sich die beiden Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 nicht in dem optischen Beleuchtungsweg befinden, die beiden Mikrofliegenaugenlinsen 151 und 152 in den optischen Beleuchtungsweg eingefügt, und wird die Po-

sitionierung entsprechend dem Lichtstrahl durchgeführt, der von dem Paar der Mikrolinsenelemente durchgelassen wird. Ebenfalls einsetzbar ist ein Verfahren, bei welchem ein Lichtstrahl, der durch die beiden Mikrolinsenelemente durchgelassen wird, mit einem Mikroskop oder dergleichen beobachtet wird, und die Positionsabweichung der beiden Mikrolinsenelemente, die innerhalb des Gesichtsfeldes beobachtet wird, ausgelesen wird, um so die Positionierung durchzuführen.

Bei einer optischen Beleuchtungseinrichtung wie jener gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist es bekannt, daß eine Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung oder Leuchtdichte infolge der Winkelcharakteristik reflexionsvermindernder Filme auftritt, die bei einzelnen Linsen vorhanden sind, welche die Zoomlinse 107 bilden, die als optisches Kondensor-system wirkt. Hierbei wird ein reflexionsverhindernder Film dadurch hergestellt, daß mehrere dünne, dielektrische Filme auf einer Linsenoberfläche abgelagert werden, wobei reflektiertes Licht dadurch ausgeschaltet wird, daß das reflektierte Licht bezüglich der Amplitude aufgeteilt wird, und eine Anzahl an Lichtkomponenten zur gegenseitigen Interferenz veranlaßt wird, wobei ihre Phasen gegeneinander verschoben sind. Da die Phasenverschiebung in Abhängigkeit von der Filmdicke erfolgt, kann sich der reflexionsverhindernde Effekt ändern, wenn sich der Einfallswinkel des Lichtstrahls ändert. Im allgemeinen werden Lichtstrahlen, die von weiter am Rand liegenden Bereichen einer Linse durchgelassen werden, in einem diese Linse verwendenden optischen System stärker abgelenkt, wodurch der Einfallswinkel größer wird. Andererseits sind reflexionsverhindernde Filme für vertikalen Einfall ausgelegt, so daß Licht mit einem größeren Einfallswinkel eher reflektiert wird. Die Leuchtdichte nimmt daher im wesentlichen in Form einer quadratischen Kurve ab, wenn die Bildhöhe in der zu beleuchtenden Oberfläche zunimmt, also mit wachsender Entfernung von der optischen Achse.

Wenn bei der vorliegenden Ausführungsform ein Filter, das mit einem Punktmuster aus Chrom versehen ist, an der Oberfläche des Deckglases 153 angeordnet ist, welches der zu beleuchtenden Oberfläche gegenüberliegt, dann kann eine Ungleichförmigkeit der Beleuchtung, die infolge der voranstehend geschilderten Winkelcharakteristik reflexionsvermindernder Filme und dergleichen auftritt, korrigiert werden. Hierbei ist das Punktmuster, das in einem sehr kleinen rechteckigen Bereich entsprechend der Eintrittsoberfläche jedes der Mikrolinsenelemente vorgesehen ist, welche die Mikrofliegenaugenlinse 151 auf der Lichtquellenseite bilden, so ausgebildet, daß das Durchlaßvermögen im Zentrum am geringsten ist, und allmählich zu den Randbereichen hin zunimmt. Es ist erforderlich, daß die rechteckigen Mikropunktmusterbereiche, die in dem Deckglas 153 vorgesehen sind, und die einzelnen Mikrolinsenelemente der Mikrofliegenaugenlinse 151 auf der Lichtquellenseite zueinander positioniert werden, also auch in diesem Fall. Die Positionierung kann wie bei der Positionierung eines Paares von Mikrofliegenaugenlinsen erfolgen, wenn das Deckglas 153 mit den voranstehend geschilderten Ausrichtungsmarkierungen versehen ist.

Ohne auf die Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 151 auf der Lichtquellenseite beschränkt zu sein, kann das voranstehend geschilderte Filter auch in der Nähe einer Ebene angeordnet sein, die optisch konjugiert zur beleuchtenden Oberfläche ist. Weiterhin kann das voranstehend geschilderte Punktmuster direkt an der Eintrittsoberfläche jedes der Mikrolinsenelemente vorgesehen sein, welche die Mikrofliegenaugenlinse 151 an der Lichtquellenseite bilden.

Statt des Deckglases 153, das mit einem Punktmuster versehen ist, kann ein Filter, welches unterschiedliche Durchlässigkeitswerte in Abhängigkeit von dem Einfallswinkel aufweist, an einer Pupillenposition der optischen Beleuchtungseinrichtung angeordnet sein (beispielsweise an der Position der Irisblende 106 oder ihrer konjugierten Ebene), um die voranstehend erwähnte Ungleichförmigkeit der Beleuchtung zu korrigieren.

Es könnte ein Verfahren zur Korrektur der voranstehend geschilderten ungleichförmigen Beleuchtung eingesetzt werden, bei welchem ein Teil mehrerer Linsen bewegt wird, welche die Zoomlinse 107 bilden, die als optisches Kondensor-system in Richtung der optischen Achse dient. Allerdings können bei diesem Verfahren nicht nur verschiedene Arten der Aberration wie beispielsweise Verzerrungen auftreten, sondern können sich auch Beleuchtungsparameter, beispielsweise der Wert von  $\sigma$ , entsprechend der Änderung der Brennweite der Zoomlinse 107 ändern.

Weiterhin kann, wie dies voranstehend bereits erwähnt wurde, die Ungleichförmigkeit der Beleuchtung beim Umschalten von Beleuchtungsbedingungen geringfügig schwanken. Wenn die voranstehend geschilderte Umschaltung von Filtern und dergleichen nach dem Umschalten der Beleuchtungsbedingungen durchgeführt wird, kann in diesem Fall die Schwankung der Ungleichförmigkeit der Beleuchtung korrigiert werden.

Zwar bildet ein Paar von Mikrofliegenaugenlinsen, die so angeordnet sind, daß dazwischen ein Spalt vorhanden ist, eine Erzeugungsvorrichtung für mehrere Lichtquellen bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform, jedoch können im allgemeinen zumindest zwei optische Elementbündel, die so angeordnet sind, daß ein Spalt dazwischen vorhanden ist, ebenfalls eine Erzeugungsvorrichtung für mehrere Lichtquellen bilden. Ein optisches Elementbündel stellt ein Konzept dar, bei welchem zweidimensionale Felder (Arrays) von Linsenoberflächen und zweidimensionale Felder (Arrays) aus reflektierenden Oberflächen vorgesehen sind.

Zwar werden bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform Mikrofliegenaugenlinsen durch Ätzen hergestellt, jedoch sie beispielsweise auch durch ein Einbeulungsverfahren (Eindrücken) oder ein Schleifverfahren hergestellt werden.

Obwohl bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform ein Paar von Mikrofliegenaugenlinsen so angeordnet ist, daß dazwischen ein Spalt vorhanden ist, kann der Raum zwischen ihnen auch mit einem Inertgas oder optischem Glas gefüllt sein. Wenn eine Lichtquelle, die Ultraviolettlicht liefert, dessen Wellenlänge kürzer als eine vorbestimmte Wellenlänge ist, verwendet wird, so ist es vorzuziehen, daß der optische Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps aus Silikatglas oder Fluorid hergestellt wird.

Zwar werden bei der fünften Ausführungsform Mikrofliegenaugenlinsen als der optische Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps verwendet, jedoch kann auch ein optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps eingesetzt werden, der beispielsweise als Fliegenaugenlinse ausgebildet ist. In diesem Fall ist es vorzuziehen, daß die Fliegenaugenlinse durch eine ausreichende Anzahl an Linsenelementen gebildet wird, um einen ausreichenden Wellenfrontunterteilungseffekt zur Verfügung zu stellen.

Obwohl die fünfte Ausführungsform so ausgebildet ist, daß optische Beugungselemente, die als Änderungsvorrichtung für die optische Intensitätsverteilung dienen, in dem optischen Beleuchtungsweg nach Art eines Revolverdrehkop-



fes angeordnet sind, kann auch beispielsweise ein bekannter Gleitmechanismus dazu verwendet werden, die voranstehend geschilderten optischen Beugungselemente umzuschalten. Detaillierte Erläuterungen in Bezug auf optische Beugungselemente, die bei der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können, sind in dem US-Patent 5 850 300 und dergleichen beschrieben.

- 5 Obwohl bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform optische Beugungselemente als Änderungsvorrichtungen für die optische Intensitätsverteilung verwendet werden, können auch optische Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps verwendet werden, beispielsweise Fliegenaugenlinsen und Mikrofliegenaugenlinsen.

Bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform wird ein Beleuchtungsgebiet einmal in einer vorbestimmten Ebene erzeugt, die konjugiert zur Maske 110 ist, wird der Lichtstrahl aus diesem Beleuchtungsgebiet durch den Maskenschirm 108 eingeschränkt, und wird dann ein Beleuchtungsgebiet auf der Maske 110 über das optische Übertragungssystem 109 ausgebildet. Es ist allerdings ebenfalls möglich, eine Anordnung einzusetzen, bei welcher ohne das optische Übertragungssystem 109 ein Beleuchtungsgebiet direkt auf der Maske 110 ausgebildet wird, die sich an der Position des Maskenschirms 108 befindet.

- 10 Obwohl die voranstehend geschilderte Ausführungsform ein Beispiel erläutert, bei welchem eine quadrupolare Sekundärlichtquelle ausgebildet wird, kann auch eine bipolare Sekundärlichtquelle (mit zwei Beleuchtungseinrichtungen) oder eine Multipol-Sekundärlichtquelle eingesetzt werden, beispielsweise eine octapolare Quelle (mit acht Beleuchtungseinrichtungen).

Obwohl bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform ein KrF-Excimerlaser (mit einer Wellenlänge von 248 nm) und ein ArF-Excimerlaser (mit einer Wellenlänge von 193 nm) als Lichtquelle verwendet werden, ist die vorliegende Erfindung auch bei Lichtquellen einsetzbar, welche Lichtquellen für die g-Linie, die h-Linie, und/oder die i-Linie umfassen, sowie Lichtquellen wie beispielsweise ein F<sub>2</sub>-Laser.

- 20 Zwar wird bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform die vorliegende Erfindung in Bezug auf eine Belichtungsprojektionseinrichtung erläutert, die als Beispiel mit einer optischen Beleuchtungseinrichtung versehen ist, jedoch kann die vorliegende Erfindung selbstverständlich auch bei üblichen Beleuchtungseinrichtungen eingesetzt werden, um gleichmäßig zu beleuchtende Oberflächen mit Ausnahme von Masken zu beleuchten.

Die Belichtungsprojektionseinrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann daher die Gleichförmigkeit der Beleuchtung auf der belichteten Oberfläche eines lichtempfindlichen Substrats sicherstellen, welche eine zu beleuchtende Oberfläche darstellt, und gleichzeitig die Gleichförmigkeit der numerischen Apertur. Dies führt dazu, daß eine vorteilhafte Projektion/Belichtung mit hoher Durchsatzrate unter vorteilhaften Belichtungsbedingungen durchgeführt werden kann.

- 30 Da die Projektion/Belichtung unter vorteilhaften Belichtungsbedingungen bei einem Belichtungsverfahren durchgeführt werden kann, bei welchem ein Muster einer Maske, die auf einer zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, auf ein lichtempfindliches Substrat projiziert wird, lassen sich vorteilhafte Mikrogeräte herstellen (Halbleitergeräte, Bildaufnahmegeräte, Flüssigkristallanzeigergeräte, Dünnfilmmagnetköpfe, und dergleichen).

35

#### Sechste Ausführungsform

Eine Belichtungsprojektionseinrichtung gemäß der sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird unter Bezugnahme auf Fig. 14A erläutert. Fig. 14A zeigt schematisch die Ausbildung einer Belichtungsprojektionseinrichtung, die mit einer optischen Beleuchtungseinrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung versehen ist. In Fig. 14A verläuft die Z-Achse entlang der Normalrichtung eines Wafers W, der ein Substrat (Werkstück) darstellt, das mit einem lichtempfindlichen Material beschichtet ist, verläuft die Y-Achse in Richtung parallel zur Papieroberfläche von Fig. 14A innerhalb der Waferoberfläche, und die X-Achse zur Papieroberfläche von Fig. 14A innerhalb der Waferoberfläche.

- 45 Die in Fig. 14A dargestellte Belichtungsprojektionseinrichtung ist mit einer Excimerlaser-Lichtquelle versehen, um beispielsweise Licht mit einer Wellenlänge von 248 nm oder 193 nm zu liefern, als Lichtquelle 201 zum Liefern von Belichtungslicht (Beleuchtungslicht). Ein im wesentlichen paralleler Lichtstrahl, der einen gewünschten rechteckigen Querschnitt aufweist, und von der Lichtquelle 201 entlang der optischen Bezugsachse AX ausgesandt wird, trifft auf eine optische Verzögerungseinheit 202 auf.

50 Die optische Verzögerungseinheit 202 führt eine zeitliche Unterteilung eines einfallenden Lichtstrahls auf mehrere Lichtstrahlen durch, die sich über jeweilige optische Wege ausbreiten, zwischen denen optische Weglängendifferenzen vorhanden sind, vereinigt erneut diese mehreren Lichtstrahlen, und sendet dann den sich ergebenden, zusammengesetzten Lichtstrahl aus. Hierbei sind die optischen Weglängendifferenzen so eingestellt, daß sie gleich dem zeitlichen Kohärenzabstand des Lichtstrahls von der kohärenten Lichtquelle 201 oder größer sind. Daher kann die Kohärenz (die Kohärenzeigenschaften) in dem Wellenzug verringert werden, der durch die optische Verzögerungseinheit 202 unterteilt wird, wodurch in vorteilhafter Weise Interferenzringe und Flecken in der zu beleuchtenden Oberfläche unterdrückt werden können. Um in vorteilhafter Weise das Auftreten von Flecken zu unterdrücken ist es vorzuziehen, daß mehrere optische Verzögerungseinheiten 202 von der voranstehend geschilderten Art in drei Stufen entlang der optischen Achse AX vorgesehen sind.

- 60 Weitere Einzelheiten des Aufbaus und des Betriebsablaufs in Bezug auf diese Art einer optischen Verzögerungsvorrichtung sind im Text, den Zeichnungen usw. der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 1-198759 beschrieben, sowie in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 11-174365, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 11-312631, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000 223405, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-223396, und in der US-Seriennummer 09/300660, wobei dies nur Beispiele sind.

65 Die Lichtstrahlen, die zeitlich in nicht kohärente, mehrere Impulse durch die optische Verzögerungseinheit 202 unterteilt werden, werden einem Revolverdrehkopf 230 zugeführt, der mit mehreren Mikrofliegenaugenlinsen 231, 233 versehen ist.



Fig. 14B ist eine Aufsicht auf die Ebene X-Y des Drehkopfes 230, gesehen von dessen Austrittsseite aus. Wie in Fig. 14B gezeigt, ist der Revolverdrehkopf 230 mit der Mikrofliegenaugenlinse 231 für eine ringförmige Beleuchtung versehen, mit der Mikrofliegenaugenlinse 232 für eine multipolare (beispielsweise quadrupolare, octapolare, usw.) Beleuchtung, und mit einem Loch 233 für eine konventionelle Beleuchtung. Hierbei weist die Mikrofliegenaugenlinse 231 für eine ringförmige Beleuchtung eine Anzahl an Linsenoberflächen auf, die in einer zweidimensionalen Matrix in der X-Y-Ebene angeordnet sind, wobei jede Linsenoberfläche eine hexagonalen Querschnitt in der X-Y-Ebene hat. Die Mikrofliegenaugenlinse für die multipolare Beleuchtung weist ebenfalls eine Anzahl an Linsenoberflächen auf, die in einer zweidimensionalen Matrix in der X-Y-Ebene angeordnet sind, wobei in diesem Fall jede Linsenoberfläche einen viereckigen Querschnitt in der X-Y-Ebene aufweist.

Die folgende Erläuterung betrifft hauptsächlich einen Fall, in welchem die Mikrofliegenaugenlinse 231 für die ringförmige Beleuchtung in den optischen Beleuchtungsweg eingesetzt ist.

Wie wiederum aus Fig. 14A hervorgeht, sammeln mehrere Linsenoberflächen der Mikrofliegenaugenlinse 231 für die ringförmige Beleuchtung den Lichtstrahl von der Lichtquelle 201 über die optische Verzögerungseinheit 202, um so mehrere Lichtquellenbilder auszubilden (welche reelle oder virtuelle Bilder sind, wenn die Brechkraft der Linsenoberfläche positiv bzw. negativ ist), wodurch ein divergenter Lichtstrahl, der einen vorbestimmten Divergenzwinkel aufweist, von der Mikrofliegenaugenlinse 231 ausgesandt wird. Ein afocales Zoomoptiksystem 204 ist an der Austrittsseite der Mikrofliegenaugenlinse 231 angeordnet. Das afocale Zoomoptiksystem 204 ist so ausgebildet, daß seine Winkelvergrößerung variabel ist, wodurch der einfallende, divergente Lichtstrahl durch das afocale Zoomoptiksystem 204 so ausgesandt wird, daß ein Winkel entsprechend der eingestellten Winkelvergrößerung erhalten wird. Der Lichtstrahl, der von dem afocalen Zoomoptiksystem 204 ausgesandt wird, ist auf einen Revolverdrehkopf 250 gerichtet, der mit mehreren optischen Beugungselementen 251 bis 253 versehen ist.

Fig. 14C ist eine Aufsicht auf die Ebene X-Y des Revolverdrehkopfs 250, gesehen von dessen Austrittsseite aus. Wie aus Fig. 14C hervorgeht, ist der Revolverdrehkopf 250 mit dem optischen Beugungselement 251 für ringförmige Beleuchtung versehen, mit dem optischen Beugungselement 252 für multipolare (beispielsweise quadrupolare, octapolare, usw.) Beleuchtung, und mit dem optischen Beugungselement 253 für konventionelle Beleuchtung.

Hierbei werden die optischen Beugungselemente 251 bis 253 so hergestellt, daß Stufen in einem lichtdurchlässigen Substrat (Glassubstrat) mit einem Teilungsabstand in der Größenordnung der Wellenlänge des Beleuchtungslichts (Beleuchtungslichts) ausgebildet werden, und arbeiten so, daß sie einfallende Strahlen in einen gewünschten Winkel beugen. Im einzelnen wandelt das optische Beugungselement 251 für ringförmige Beleuchtung den Lichtstrahl, der entlang der optischen Achse der optischen Beleuchtungseinrichtung (Z-Achse) einfällt, in einen divergenten Lichtstrahl um, der einen ringförmigen, divergenten Querschnitt im Fernfeldbereich aufweist. Das optische Beugungselement 252 für Multipolar-Beleuchtung wandelt den Lichtstrahl, der entlang der optischen Achse der optischen Beleuchtungseinrichtung (Z-Achse) einfällt, in mehrere divergente Lichtstrahlen um, die einen quadrupolaren Querschnitt aufweisen, der vier Punkte ausbildet, die in dem ersten bis vierten Quadranten von X-Y-Koordinaten liegen, deren Ursprung sich auf der optischen Achse befindet. Das optische Beugungselement 253 für konventionelle Beleuchtung wandelt den Lichtstrahl, der entlang der optischen Achse der optischen Beleuchtungseinrichtung einfällt, in einen divergenten Lichtstrahl um, der einen kreisförmigen Querschnitt im Fernfeldbereich aufweist.

Da die optischen Beugungselemente 251 bis 253 dazu wirksam sind, das Auftreten von Interferenzstreifen und Flecken in der zu beleuchtenden Oberfläche zu verringern, kann die optische Verzögerungseinheit 202 gegebenenfalls auch weggelassen werden.

In Fig. 14A wird das optische Beugungselement 251 für ringförmige Beleuchtung in den optischen Beleuchtungsweg dann eingesetzt, wenn die Mikrofliegenaugenlinse 231 für ringförmige Beleuchtung in den optischen Weg eingesetzt ist. Da das optische Beugungselement 251 nicht mit einem parallelen Lichtstrahl beleuchtet wird, sondern mit einem Lichtstrahl, der einen vorbestimmten Winkel (numerische Apertur) aufweist, der durch die Mikrofliegenaugenlinse 231 und das afocale Zoomoptiksystem 204 vorgegeben wird, weist sein Fernfeldbereich eine ringförmige (torusförmige) optische Intensitätsverteilung auf, die eine Breite entsprechend dem voranstehend erwähnten, vorbestimmten Winkel hat, anstelle einer ringförmigen optischen Intensitätsverteilung, deren Breite im wesentlichen gleich Null ist.

Bei dem Beispiel gemäß Fig. 14A bildet ein Zoomoptiksystem 206 hinter dem optischen Beugungselement 251 (252, 253) seinen Fernfeldbereich in einer endlichen Entfernung aus (an der bildseitigen Brennpunktposition des Zoomoptiksystems 206 oder in dessen Nähe). Daher wird eine ringförmige optische Intensitätsverteilung an der bildseitigen Brennpunktposition oder in deren Nähe des Zoomoptiksystems 206 ausgebildet.

Wenn hierbei die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 geändert wird, dann wird die ringförmige optische Intensitätsverteilung proportional hierzu vergrößert oder verringert, während das Ringverhältnis beibehalten wird (das Verhältnis des Innendurchmessers zum Außendurchmesser des Rings). Da die Breite des Rings (die Differenz zwischen dem Außendurchmesser und dem Innendurchmesser des Rings) geändert werden kann, wenn wie voranstehend geschildert die Winkelvergrößerung des afocalen Zoomoptiksystems 204 geändert wird, können das Ringverhältnis und die Ringbreite unabhängig voneinander auf vorbestimmte Werte eingestellt werden, wenn die Winkelvergrößerung des afocalen Zoomoptiksystems 204 und die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 unabhängig voneinander eingestellt werden.

Nunmehr wird kurz ein Fall erläutert, bei welchem sowohl die Mikrofliegenaugenlinse 232 als auch das optische Beugungselement 252 für multipolare Beleuchtung in den optischen Beleuchtungsweg eingesetzt werden. Da die Mikrofliegenaugenlinse 232 mit mehreren Linsenoberflächen versehen ist, die wie voranstehend geschildert jeweils einen rechteckigen Querschnitt aufweisen, wird der Lichtstrahl, der von der Mikrofliegenaugenlinse 232 ausgesandt wird, und dann auf das afocale Zoomoptiksystem 204 auftrifft, ein Lichtstrahl, der einen rechteckigen Querschnitt an einer Pupillenebene aufweist, die man erhält, wenn der Objektpunkt des afocalen Zoomoptiksystems als der Ort der Mikrofliegenaugenlinse 232 gewählt wird, und daher auf das optische Beugungselement 252 als ein Lichtstrahl auftrifft, der einen Winkel (numerische Apertur) aufweist, welcher der Winkelvergrößerung des afocalen Zoomoptiksystems 204 entspricht.

In dem Fernfeldbereich des optischen Beugungselements 252, also an dem bildseitigen Ort des Brennpunkts des Zoomoptiksystems 206 oder in dessen Nähe, kommen mehrere Lichtstrahlen an, die vier rechteckige Querschnitte auf-

weisen, die in dem ersten bis vierten Quadranten der X-Y-Koordinaten liegen, deren Ursprung auf der optischen Achse liegt.

Wie bei der ringförmigen Beleuchtung werden hierbei die jeweiligen Größen der vier rechteckigen Querschnitte der Lichtstrahlen, die an der bildseitigen Brennpunktposition oder in dessen Nähe des Zoomoptiksystems 206 ausgebildet werden, geändert, wenn die Winkelvergrößerung des afocalen Zoomoptiksystems 204 geändert wird. Auch wird dann, wenn die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 geändert wird, die Entfernung von der optischen Achse zur Zentrumsposition der vier Lichtstrahlen geändert, welche rechteckige Querschnitte aufweisen, und an der bildseitigen Brennpunktposition oder in deren Nähe des Zoomoptiksystems 206 ausgebildet werden.

Bei konventioneller Beleuchtung werden das Loch 233 des Revolverdrehkopfes 230 und das optische Beugungselement 253 in den optischen Beleuchtungsweg eingesetzt. Daher arbeitet das afocale Zoomoptiksystem 204 so, daß es einen parallelen Lichtstrahl empfängt, der einen rechteckigen Querschnitt aufweist, von der optischen Verzögerungseinheit 202, und entsprechend seiner Winkelvergrößerung die Breite des X-Y-Querschnitts des parallelen Lichtstrahls ändert. Das afocale Zoomoptiksystem 204 arbeitet daher als Strahlaufweiter bei konventioneller Beleuchtung.

Da das optische Beugungselement 253 einen Lichtstrahl ausbildet, der einen kreisförmigen Querschnitt im Fernfeldbereich aufweist, in Reaktion auf den parallelen Lichtstrahl, wie dies voranstehend bereits erwähnt wurde, wird ein Lichtstrahl mit kreisförmigen Querschnitt an der bildseitigen Brennpunktposition oder in deren Nähe des Zoomoptiksystems 206 ausgebildet. Wenn hierbei die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 geändert wird, wird auch der Durchmesser des Lichtstrahls mit kreisförmigem Querschnitt geändert.

Die Belichtungsprojektionseinrichtung, die in Fig. 14A gezeigt ist, weist eine erste Antriebseinheit 234 auf, um Mikrofliegenaugenlinsen durch Antrieb des Revolverdrehkopfes 203 auszutauschen, einzufügen oder zurückzuziehen; und weiterhin eine zweite Antriebseinheit 244 zum Antrieb von Linsen des afocalen Zoomoptiksystems 204, um dessen Winkelvergrößerung zu ändern; eine dritte Antriebseinheit 254 zum Austausch optischer Beugungselemente durch Antrieb des Revolverdrehkopfes 250; und eine vierte Antriebseinheit 264 zum Antrieb von Linsen des Zoomoptiksystems 206, um dessen Brennweite zu ändern. Die erste bis vierte Antriebseinheit 234, 244, 254, 264 sind mit einer Steuereinheit 214 verbunden, und werden durch Befehle von der Steuereinheit 214 gesteuert.

Der Lichtstrahl von dem Zoomoptiksystem 206 fällt auf einen optischen Integrierer 207 ein, der ein Paar von Mikrofliegenaugenlinsen aufweist. Der optische Integrierer 207 wird nunmehr unter Bezugnahme auf die Fig. 15A bis 17C erläutert.

Fig. 15A ist eine Y-Z-Querschnittsansicht des optischen Integrierers 207, wogegen Fig. 15B eine X-Y-Aufsicht auf eine Mikrofliegenaugenlinse 271 (272) in dem optischen Integrierer 207 ist.

Wie aus Fig. 15A hervorgeht, weist der optische Integrierer 207 gemäß der vorliegenden Ausführungsform ein Paar von Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 auf, ein eintrittsseitiges Deckglas 273, das an der Eintrittsseite der Mikrofliegenaugenlinsen vorgesehen ist, ein austrittsseitiges Deckglas 274, das an der Austrittsseite der Mikrofliegenaugenlinsen angeordnet ist, sowie ein optisches Beugungselement 275, das als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung dient.

Hierbei ist der grundlegende Aufbau der beiden Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 gleich, und jede stellt ein optisches Element dar, welches mehrere Mikrolinsenelemente 271a (272a) aufweist, die jeweils einen rechteckigen Querschnitt aufweisen und eine positive Brechkraft haben, und dicht gepackt zweidimensional matrixförmig angeordnet sind, wie dies in Fig. 15B gezeigt ist. Jede Mikrofliegenaugenlinse 271, 272 wird dadurch hergestellt, daß ein im wesentlichen quadratisches, planparalleles Glassubstrat 270 so geätzt wird, daß Mikrolinsenoberflächen in einer kreisförmigen, effektiven Fläche 270a ausgebildet werden.

Obwohl Fig. 15B eine Anzahl an Mikrolinsenoberflächen 271a, (272a) zeigt, die an der Eintrittsseite jeder Mikrofliegenaugenlinse 271 (272) vorgesehen sind, weist jedes Mikrofliegenaugenlinse 271 (272) auch mehrere Mikrolinsenoberflächen 271b (272b) auf, die auf ihrer Austrittsseite coaxial zu den zugehörigen Mikrolinsenoberflächen 271a (272a) an der Eintrittsseite ausgebildet sind. Die Mikrolinsenoberflächen 271b (272b) werden ebenfalls in einer kreisförmigen, effektiven Fläche durch Ätzen des planparallelen Glassubstrats 270 hergestellt.

Bei dem optischen Integrierer 207 bei dieser Ausführungsform werden 1000 bis 50.000 oder mehr Mikrolinsenoberflächen 271a (271b, 272a, 272b) innerhalb der effektiven Fläche 270a ausgebildet. Die Größe jeder Mikrolinsenoberfläche kann beispielsweise  $0,54 \text{ mm} \times 0,2 \text{ mm}$  betragen, während der Durchmesser der effektiven Fläche 270a 86 mm betragen kann, so daß sich eine Anzahl an Mikrolinsenoberflächen von annähernd 50.000 ergibt. Zur Verdeutlichung wird darauf hingewiesen, die Anzahl an Mikrolinsenoberflächen, die in Mikrofliegenaugenlinsen vorhanden sind, die in der Zeichnung dargestellt sind, erheblich kleiner ist als die tatsächliche Anzahl.

Da die Eintrittsoberfläche der Mikrofliegenaugenlinse 271 optisch konjugiert zur Oberfläche eines Wafers W angeordnet ist, welche eine zu beleuchtende Oberfläche darstellt, wie dies nachstehend noch genauer erläutert wird, gleicht die äußere Form einer Mikrolinsenoberfläche – die Form eines Rechtecks bei der vorliegenden Ausführungsform – der Form der Beleuchtungsfläche auf dem Wafer W).

Fig. 16 ist eine Darstellung des optischen Weges des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272. Wie in Fig. 16 gezeigt ist, sind ein Paar von Mikrolinsenoberflächen 271a, 271b der Mikrofliegenaugenlinse 271 sowie ein Paar von Mikrolinsenoberflächen 272a, 272b der Mikrofliegenaugenlinse 272 coaxial zueinander entlang einer optischen Achse angeordnet, die in der Figur durch eine gestrichelt-einfach gepunktete Linie dargestellt ist.

Wie mit durchgezogenen Linien in Fig. 16 dargestellt, bildet ein Lichtstrahl, der parallel auf ein optisches Vereinigungssystem einfällt, das aus den Mikrolinsenoberflächen 271a, 271b, 272a, 272b besteht, die entlang der optischen Achse angeordnet sind, ein Lichtquellenbild in der bildseitigen Brennebene des optischen Vereinigungssystems aus. Weiterhin ist, wie in Fig. 16 gestrichelt dargestellt, die objektseitige Brennebene des optischen Vereinigungssystems, das aus den Mikrolinsenoberflächen 271a, 271b, 272a, 272b besteht, die entlang der optischen Achse angeordnet sind, so ausgebildet, daß sie mit der Eintrittsoberfläche (Mikrolinsenoberfläche 271a) der Mikrofliegenaugenlinse 271 zusammenfällt.

Mehrere Mikrolinsenoberflächen an der Eintrittsseite der Mikrofliegenaugenlinse 271 und jene auf dessen Austrittsseite, sowie mehrere Mikrolinsenoberflächen an der Eintrittsseite der Mikrofliegenaugenlinse 272 und jene auf dessen

Austrittsseite, sind so angeordnet, daß sie koaxial zueinander liegen, mit ihrer Achse parallel zur optischen Achse, auch in Mikrolinsenoberflächen, die nicht entlang der optischen Achse angeordnet sind.

Daher wird eine Sekundärlichtquelle, die aus einer Anordnung aus einer Anzahl an Lichtquellenbildern besteht, an der bildseitigen Brennebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 erzeugt. Bei der vorliegenden Ausführungsform wirkt die bildseitige Brennebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 als Pupille (Beleuchtungspupille) der optischen Beleuchtungseinrichtung.

Hierbei weist die Sekundärlichtquelle eine Form auf, die im wesentlichen gleich der Querschnittsform des Lichtstrahls ist, der auf den optischen Integrierer 207 auftrifft, so daß beispielsweise eine ringförmige Sekundärlichtquelle an der Beleuchtungspupille ausgebildet wird, wenn die Mikrofliegenaugenlinse 231 für ringförmige Beleuchtung und das optische Beugungselement 251 für ringförmige Beleuchtung in den optischen Beleuchtungsweg eingesetzt sind, und eine Sekundärlichtquelle, die vier rechteckige Querschnitte aufweist, die exzentrisch in Bezug auf die optische Achse angeordnet sind (Anordnung aus vier Lichtquellenbildern, die jeweils einen rechteckigen Querschnitt aufweisen, und in dem ersten bis vierten Quadranten von X-Y-Koordinaten angeordnet sind, deren Ursprung auf der optischen Achse liegt) an der Beleuchtungspupille ausgebildet wird, wenn die Mikrofliegenaugenlinse 231 für multipolare (quadrupolare) Beleuchtung und das optische Beugungselement 251 für multipolare (quadrupolare) Beleuchtung in den optischen Beleuchtungsweg eingesetzt sind. Andererseits wird bei konventioneller Beleuchtung eine kreisförmige Sekundärlichtquelle an der Beleuchtungspupille ausgebildet.

Wiederum in Fig. 14A ist eine Irisblende 208, die so ausgebildet ist, daß der Durchmesser ihrer kreisförmigen Öffnung kontinuierlich geändert werden kann, an der Position der Beleuchtungspupille angeordnet (der bildseitigen Brennpunktebene des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272), wogegen der Lichtstrahl von der Sekundärlichtquelle, die an der Position dieser Irisblende 208 ausgebildet wird, von einem Zoomkondensoroptiksystem 208 gesammelt wird, dessen objektseitiger Brennpunkt sich an der Irisblende 208 befindet, um so durch Überlagerung eine Beleuchtungsschfeldblende (Strichplattenschirm) 201 zu beleuchten, die in der Nähe des bildseitigen Brennpunkts des Zoomkondensoroptiksystems angeordnet ist. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist das Zoomkondensoroptiksystem 209 eine Zoomlinse, welche Projektionseigenschaften gemäß  $\text{fsin}\theta$  aufweist, und deren Betriebsweise später noch genauer erläutert wird. Der Öffnungsdurchmesser der Irisblende 208 wird auf einen vorbestimmten Durchmesser eingestellt, entsprechend dem Antrieb durch eine fünfte Antriebseinheit 284, die von der voranstehend geschilderten Steuereinheit 214 gesteuert wird.

Mit Hilfe eines Beleuchtungsschfeldblendenbild-Erzeugungsoptiksystems 211 (Blindbilderzeugungssystems), welches ein Bild des Öffnungsabschnitts der Beleuchtungsschfeldblende auf einer Musteroberfläche einer Strichplatte R erzeugt, bildet der Lichtstrahl, der durch den Öffnungsabschnitt der Beleuchtungsschfeldblende 210 hindurchgegangen ist, eine Beleuchtungsfläche, welche die gleiche Form wie der Öffnungsabschnitt der Beleuchtungsschfeldblende aufweist, auf der Musteroberfläche der Strichplatte R.

Licht von einem Strichplattenmuster, das innerhalb der Beleuchtungsfläche liegt, kommt auf dem Wafer W über ein optisches Projektionssystem PL an, das zwischen der Strichplatte R und dem Wafer W angeordnet ist, wodurch ein Bild des Strichplattenmusters innerhalb einer Belichtungsfläche auf dem Wafer W ausgebildet wird. Hierbei ist die Strichplatte R auf einer Strichplattenstufe 212 angebracht, die zumindest in der Richtung Y bewegt werden kann, wogegen der Wafer W auf einer Waferstufe 213 angebracht ist, die zumindest in zwei Dimensionen innerhalb der X-Y-Ebene bewegt werden kann.

Bei der vorliegenden Ausführungsform weisen die Belichtungsfläche auf dem Wafer W und die Beleuchtungsfläche auf der Strichplatte R eine rechteckige Form (Schlitzform) auf, deren Längsrichtung in Richtung X liegt. Wenn die Strichplatte R und der Wafer W in Bezug auf das optische Projektionssystem PL mit einem Geschwindigkeitsverhältnis entsprechend der Projektionsvergrößerung des optischen Projektionssystems bewegt werden (beispielsweise  $-1/4x$ ,  $-1/5x$ ,  $-1/6x$ , usw.), so kann das Musterbild, das in der Musterausbildungsfläche der Strichplatte R ausgebildet wird, auf die Fläche für eine Aufnahme auf dem Wafer W übertragen werden.

Bei der sechsten Ausführungsform wird eine ringförmige oder multipolare Sekundärlichtquelle im wesentlichen ohne Lichtenergiemengenverluste unter Verwendung der Mikrofliegenaugenlinsen 231, 232 und der optischen Beugungselemente 251, 252 ausgebildet. Bei einer derartigen Sekundärlichtquelle (einer Sekundärlichtquelle, die eine ringförmige Form, eine multipolare Form, oder dergleichen aufweist), die eine Verteilung der optischen Intensität aufweist, bei welcher die optische Intensität im Pupillenzentrumsbereich einschließlich der optischen Achse niedriger eingestellt ist als in deren Umgebungsbereich, nimmt die Energiedichte einer Anzahl an Lichtquellen zu, welche die Sekundärlichtquelle bilden.

Bei der Mikrofliegenaugenlinse 272 und dem austrittsseitigen Deckglas 274, die im vorliegenden Falle sich in der Nähe einer Anzahl von Lichtquellenbildern befinden, besteht die Befürchtung, daß der reflexionsvermindernde Film, der auf ihren Oberflächen vorgesehen ist, und die Substrate selbst brechen könnten, oder deren Durchlässigkeit beeinträchtigt wird oder sich im Verlauf der Zeit ändert, selbst wenn kein Bruch auftritt.

Daher ist bei der sechsten Ausführungsform das optische Beugungselement 275, das als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung dient, auf der Lichtquellenseite der Mikrofliegenaugenlinse 271 angeordnet, welche einen Teil des optischen Integrierers 207 bildet. Nunmehr werden unter Bezugnahme auf die Fig. 17A bis 17C und 18 die Funktionen des optischen Beugungselements 275 als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung erläutert.

Die Fig. 17A bis 17C sind Darstellungen zur Erläuterung des Wirkungsprinzips des optischen Beugungselements 275, wobei das optische Beugungselement 275 und die eintrittsseitige Linsenoberfläche 271a der Mikrofliegenaugenlinse 271 dargestellt sind. Wie aus Fig. 17A hervorgeht, arbeitet das optische Beugungselement 275 so, daß es den auf ihn einfallenden, parallelen Lichtstrahl mit einem vorbestimmten Divergenzwinkel  $\theta$  aufweitet. Hierbei wird ein Fernfeldmuster FFP, dessen Querschnitt innerhalb der X-Y-Ebene im wesentlichen kreisförmig ist, wie dies in Fig. 17B gezeigt ist, in einem Fernfeldbereich FF des optischen Beugungselements 275 ausgebildet. Das optische Beugungselement 275 kann auch ein Fernfeldmuster FFP ausbilden, dessen Querschnitt innerhalb der X-Y-Ebene im wesentlichen rechteckig ist, wie dies in Fig. 17C gezeigt ist.

Fig. 18 zeigt optische Wege des divergenten Lichtstrahls von dem optischen Beugungselement 275. In Fig. 18 ist unter

den divergenten Lichtstrahlen von dem optischen Beugungselement 275 ein paralleler Lichtstrahl, der sich parallel zur optischen Achse ausbreitet, mit durchgezogenen Linien dargestellt, eine parallele Linie, die schräg oben in Bezug auf die optische Achse geht, ist mit gestrichelten Linien dargestellt, und eine parallele Linie, die schräg nach unten in Bezug auf die optische Achse geht, ist durch doppeltgestrichelte Linien dargestellt.

- 5 Hierbei wird der parallele Lichtstrahl parallel zur optischen Achse, der mit durchgezogenen Linien dargestellt ist, durch die einzelnen Linsenoberflächen 271a bis 272b des Paares der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 so gebrochen, daß er die optische Achse an der Position der Irisblende 208 schneidet (an der Position der Beleuchtungspupille). Daher wird ein Lichtquellenbild auf der Grundlage des parallelen Lichtstrahls parallel zur optischen Achse an dieser Position auf der optischen Achse erzeugt. Andererseits wird der parallele Lichtstrahl, der schräg nach oben in Bezug auf die optische Achse geht, und in der Figur mit gestrichelten Linien dargestellt ist, durch die Linsenoberflächen 271a bis 272b so gebrochen, daß er an der Oberseite der optischen Achse an der Position der Irisblende 208 (der Position der Beleuchtungspupille) gesammelt wird, wogegen der parallele Lichtstrahl, der schräg nach unten in Bezug auf die optische Achse geht, und in der Figur durch die doppeltgestrichelten Linien dargestellt ist, durch die Linsenoberflächen 271a bis 272b so gebrochen wird, daß er an der Unterseite der optischen Achse an der Position der Irisblende 208 (der Position der Beleuchtungspupille) gesammelt wird. Da die Winkelverteilung des Lichts, das divergent von dem optischen Beugungselement 275 ausgeht, nicht diskret, sondern kontinuierlich ist, wird ein vergrößertes Lichtquellenbild SI, anstelle eines unterteilten Lichtquellenbildes, an der Position der Irisblende 208 ausgebildet.

- Obwohl Fig. 18 das Lichtquellenbild SI betrifft, das durch die Linsenoberflächen 271a bis 272b ausgebildet wird, die entlang der optischen Achse angeordnet sind, weisen in der Praxis Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 mehrere Gruppen an Linsenoberflächen auf, die entlang mehrerer Achsen parallel zur optischen Achse angeordnet sind, wodurch mehrere, vergrößerte Lichtquellenbilder SI an der Position der Beleuchtungsaperturbundle ausgebildet werden.

- Da die Energiedichte in den wie geschildert vergrößerten Lichtquellenbildern SI niedriger wird, besteht keine Befürchtung, daß der reflexionsvermindernde Film, der auf der Mikrofliegenaugenlinse 272 und dem austrittsseitigen Deckglas 274 vorgesehen ist, oder die Substrate selbst brechen, oder sich das Durchlaßvermögen verschlechtert, oder im Verlauf der Zeit abnimmt, selbst wenn kein Bruch auftritt. Daher kann die zu bestrahlende Oberfläche stabil beleuchtet werden.

- Bei der vorliegenden Ausführungsform ist es vorzuziehen, daß der Divergenzwinkel des optischen Beugungselements 275, das als Lichtquellenvergrößerungsvorrichtung dient, so eingestellt ist, daß kein Verlust in Bezug auf Beleuchtungslight in dem optischen Integrierer 207 auftritt. Wenn nämlich der optische Integrierer 207 mehrere zweidimensional angeordnete Mikrolinsenoberflächen (271a, 271b, 272a, oder 272b) aufweist, wie bei der vorliegenden Ausführungsform, so ist es vorzuziehen, daß der Divergenzwinkel des optischen Beugungselements 275 so gewählt ist, daß die Größe der vergrößerten Bilder SI geringer ist als die Größe der Mikrolinsenoberflächen (271a, 271b, 272a, oder 272b) innerhalb der X-Y-Ebene.

- Wenn der Divergenzwinkel des optischen Beugungselements 275 so gewählt ist, daß die Größe der vergrößerten Bilder SI größer ist als die Größe der Mikrolinsenoberflächen (271a, 271b, 272a, oder 272b) innerhalb der X-Y-Ebene, breitet sich nämlich ein Lichtstrahl zur Außenseite mehrerer Mikrolinsenoberflächen (271a, 271b, 272a, oder 272b) aus, und trägt daher nicht zur Ausbildung einer Sekundärlichtquelle bei, so daß ein Lichtenergiemengenverlust auftritt. Die Größe der vergrößerten Lichtquellenbilder SI wird nicht nur durch den Divergenzwinkel des optischen Beugungselements 275 bestimmt, sondern auch durch die Brennweite der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272, den Winkel (numerische Apertur) des Lichtstrahls, der auf das optische Beugungselement 275 einfällt, die Entfernung zwischen dem optischen Beugungselement 275 und der Mikrofliegenaugenlinse 271, und dergleichen.

- Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der Divergenzwinkel des optischen Beugungselements 275 auf etwa 2° bis 3° eingestellt, so daß die Größe der Lichtquellenbilder SI etwa doppelt so groß wird wie in einem Fall, in welchem das optische Beugungselement 275 nicht eingefügt ist.

- Wie wiederum in Fig. 17A gezeigt ist, ist das optische Beugungselement 275 als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung so angeordnet, daß die eintrittsseitige Linsenoberfläche 271a der Mikrofliegenaugenlinse 271 in der Nähe des Nahfeldbereiches NF des optischen Beugungselements 275 liegt. Da jede von mehreren eintrittsseitigen Linsenoberflächen 271a der Mikrofliegenaugenlinse 271 so angeordnet ist, daß sie im wesentlichen optisch konjugiert zur Belichtungsfläche auf dem Wafer W angeordnet ist, besteht in diesem Zusammenhang die Befürchtung, daß die Leuchtdichte-Verteilung innerhalb der Belichtungsfläche auf dem Wafer W ungleichförmig wird, wenn die Leuchtdichteverteilung innerhalb der eintrittsseitigen Linsenoberfläche 271a ungleichförmig ist.

- Es ist vorzuziehen, daß der Nahfeldbereich des optischen Beugungselements als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung eine im wesentlichen gleichförmige Leuchtdichteverteilung aufweist.

- Die Vergrößerung jedes von mehreren Lichtquellenbildern, die durch einen optischen Integrierer ausgebildet werden, wie bei der vorliegenden Ausführungsform, kann in der Hinsicht wirksam sein, daß der Wert von  $\sigma$  (die strichplattenseitige numerische Apertur der optischen Beleuchtungseinrichtung in Bezug auf die strichplattenseitige numerische Apertur des optischen Projektionssystems) kontinuierlich eingestellt werden kann. Dies wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 19A und 19B erläutert.

- Fig. 19A und 19B sind Aufsichten auf einen optischen Integrierer, betrachtet von dessen Außenumfangsoberflächen-seite aus, wobei Fig. 19A einen Zustand zeigt, in welchem Lichtquellenbilder S ohne Vergrößerung ausgebildet werden, wogegen Fig. 19B einen Zustand zeigt, in welchem vergrößerte Lichtquellenbilder S ausgebildet werden.

- Wenn wie in Fig. 19A gezeigt Lichtquellenbilder S ohne Vergrößerung ausgebildet werden, sind mehrere Lichtquellenbilder S getrennt voneinander angeordnet, so daß der Außendurchmesser der Sekundärlichtquelle nur diskret eingestellt werden kann, wie dies in der Figur mit durchgezogenen Linien angedeutet ist. Wenn andererseits vergrößerte Lichtquellenbilder SI wie in Fig. 19B ausgebildet werden, sind mehrere vergrößerte Lichtquellenbilder SI dicht gepackt angeordnet, so daß der Außendurchmesser der Sekundärlichtquelle im wesentlichen kontinuierlich eingestellt werden kann, wie dies in der Figur mit gestrichelten Linien angedeutet ist. Dies kann dazu wirksam sein, die Bilderzeugungsleistung der Belichtungsprojektionseinrichtung dadurch zu verbessern, daß kontinuierlich der Wert von  $\sigma$  gesteuert wird.

Das Vergrößern jedes von mehreren Lichtquellenbildern, die von einem optischen Integrierer ausgebildet werden, wie bei der vorliegenden Ausführungsform, ist besonders wirksam in jenem Fall, in welchem die Anzahl an Linsenoberflächen kleiner ist, welche den optischen Integrierer bilden (die Größe mehrerer Linsenoberflächen ist größer).

Das Vergrößern jedes von mehreren Lichtquellenbildern, die von einem optischen Integrierer ausgebildet werden, wie bei der vorliegenden Ausführungsform, bringt auch die Auswirkung mit sich, die durch Blendlicht hervorgerufene Beschädigung optischer Bauteile zu verringern. Es wird beispielsweise ein Fall angenommen, in welchem Blendlicht innerhalb eines optischen Systems von einem optischen Integrierer zu einem Wafer auftritt, und einen Brennpunkt in einem optischen Bauteil oder in dessen Nähe des optischen Systems erzeugt. Wenn die Größe von Lichtquellenbildern selbst größer ist, wird in diesem Fall die Energie des Blendlichts an dem Lichtsammelort niedriger, was zu der Auswirkung führt, einen Bruch des optischen Bauteils (oder von Dünnschichten auf dem optischen Bauteil) zu verhindern, und den Zeitraum bis zu dessen Bruch zu verlängern, also dessen Lebensdauer.

Obwohl bei der sechsten Ausführungsform das optische Beugungselement 275 als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung verwendet wird, kann hierzu auch ein brechendes optisches Element oder ein Diffusor vorgesehen werden. Wenn jedoch ein brechendes optisches Element oder ein Diffusor als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung verwendet wird, ist es vorzuziehen, daß der Bereich des Divergenzwinkels von der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung auf einen gewünschten Wert eingestellt wird, und daß die Leuchtdichteverteilung der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung in dem Fernfeldbereich und jene im Nahfeldbereich (oder an einer optisch konjugierten Position in Bezug auf die zu beleuchtende Oberfläche in dem optischen Integrierer) im wesentlichen gleichförmig ist.

Obwohl das Fernfeldmuster, das in dem Fernfeldbereich durch die Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung ausgebildet wird, bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform kreisförmig oder rechteckig ist, wie dies in den Fig. 17B und 17C gezeigt ist, ist die Form des Fernfeldmusters nicht hierauf beschränkt. Es können beispielsweise verschiedene Formen auftreten, beispielsweise mehreckige Formen einschließlich rechteckig (quadratisch oder länglich), sechseckig, trapezförmig, rautenförmig, und achteckig, elliptisch, und bogenförmig. Es ist allerdings vorzuziehen, daß die Form des Fernfeldmusters der Lichtquellenbilderzeugungsvorrichtung gleich jener der Beleuchtungsfläche ist, die an der zu beleuchtenden Oberfläche ausgebildet wird.

Bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform ist das optische Kondensorsystem 209 zum Sammeln von Licht von der Sekundärlichtquelle, die an der Austrittsoberfläche des optischen Integrierers 207 ausgebildet wird, um durch Überlagerung die Beleuchtungsschfeldblende 210 zu beleuchten, so ausgebildet, daß seine Projektionseigenschaften entsprechend  $F \sin \theta$  ausgebildet sind. Genauer gesagt, wird hierdurch folgende Projektionsbeziehung erfüllt:

$$Y = F \sin \theta \quad (1)$$

wobei F die Brennweite des optischen Kondensorsystems 209 ist,  $\theta$  der Einfallswinkel eines Hauptstrahls auf das optische Kondensorsystem 209, wenn die objektseitige Brennpunktposition des optischen Kondensorsystems 209 eine Eintrittspupille ist, und Y die Entfernung von der optischen Achse zu einer Position ist, an welcher der Hauptstrahl, der von dem optischen Kondensorsystem 209 ausgeht, auf die zu beleuchtende Oberfläche auftritt, oder auf eine zu dieser optisch konjugierte Oberfläche. Obwohl das optische Kondensorsystem 209 ein Zoomoptiksystem mit variabler Brennweite ist, behält es die Projektionsbeziehung gemäß der voranstehend angegebenen Ausdruck (1) beim Zoomen im wesentlichen bei.

Wenn die Sekundärlichtquelle annähernd als vollständig diffuse Lichtquelle angesehen wird, wenn das optische Kondensorsystem 209 entsprechend ausgebildet ist, dann können die Leuchtdichte und die numerische Apertur innerhalb der X-Y-Ebene, in welcher sich die Beleuchtungsschfeldblende 210 befindet, unabhängig vom Ort innerhalb der X-Y-Ebene konstant ausgebildet werden.

Damit die Sekundärlichtquelle, die durch den optischen Integrierer 207 gebildet wird, annähernd als perfekt eben diffuse Lichtquelle (Diffusorlichtquelle) bei der vorliegenden Ausführungsform angesehen werden kann, sind die Mikrolinsenoberflächen 271a, 271b, 272a, 272b in dem optischen Integrierer 207 asphärisch ausgebildet, um so eine Korrektur der sphärischen Aberration und eine Korrektur des Koma (Erfüllung der Sinusbedingung) des optischen Integrierers 207 zu erzielen. Bei der vorliegenden Ausführungsform erreichen Beleuchtungs-Lichtstrahlen mit gleichförmiger Leuchtdichte und gleichförmiger numerischer Apertur die Beleuchtungsschfeldblende 210, und daher können eine gleichförmige Leuchtdichte und eine gleichförmige numerische Apertur in dem gesamten Belichtungsbereich auf dem Wafer W erzielt werden, der eine zu beleuchtende Oberfläche darstellt.

Obwohl sämtliche Mikrolinsenoberflächen 271, 271b, 272a, 272b dieselbe asphärische Form aufweisen, um ihre Herstellung bei der vorliegenden Ausführungsform zu erleichtern, können die Mikrolinsenoberflächen auch voneinander verschiedene Formen aufweisen, und ist es nicht erforderlich, daß sämtliche Mikrolinsenoberflächen mit asphärischen Oberflächen versehen sind.

Weiterhin können sämtliche Mikrolinsenoberflächen 271a, 271b, 272a, 272b in dem optischen Integrierer 207 sphärische Formen aufweisen. In diesem Fall kann, wenn die Mikrolinsenoberflächen jeweils voneinander verschiedene Oberflächenformen aufweisen, die Sinusbedingung erfüllt werden, während die sphärische Aberration korrigiert wird.

Obwohl bei der vorliegenden Ausführungsform die Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 als der optische Integrierer 207 verwendet werden, kann statt dessen auch eine Fliegenaugenlinse verwendet werden, die durch mehrere stabförmige Linsen gebildet wird, die vereinigt in einer zweidimensionalen Matrix angeordnet sind.

Die Mikrofliegenaugenlinse und die Fliegenaugenlinse weisen die Gemeinsamkeit auf, daß eine Anzahl an Mikrolinsenoberflächen in einer zweidimensionalen Matrix angeordnet ist. Die Mikrofliegenaugenlinse unterscheidet sich jedoch von der Fliegenaugenlinse, die aus voneinander getrennten Linsenelementen besteht, in der Hinsicht, daß eine Anzahl an Mikrolinsenelementen miteinander vereinigt vorgesehen ist, diese also nicht voneinander getrennt sind.

Im Vergleich zur Fliegenaugenlinse ist die Mikrofliegenaugenlinse in der Hinsicht vorteilhaft, daß die Größe ihrer Mikrolinsenoberflächen sehr klein ausgebildet werden kann. Wenn die Größe der Mikrolinsenoberflächen sehr klein ausgebildet wird, dann wird der Wellenfrontunterteilungseffekt des optischen Integrierers 207 sehr hoch, wodurch die Gleich-

förmigkeit der Leuchtdichte an der zu beleuchtenden Oberfläche (der Oberfläche des Wafers W) verbessert werden kann, und Schwankungen der Leuchtdichteverteilung an der zu beleuchtenden Oberfläche sowie Schwankungen der Telezentrität auf einen sehr niedrigen Wert heruntergedrückt werden können, selbst wenn die Beleuchtungsbedingungen sich ändern (beispielsweise von der konventionellen Beleuchtung zur abgeänderten Beleuchtung).

Die voranstehend geschilderte Ausführungsform weist das eintrittsseitige Deckglas 273 und das austrittsseitige Deckglas 274 auf, um zu verhindern, daß Oberflächen der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 und des optischen Beugungselements 275, das als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung dient, durch photochemische Reaktionen verunreinigt werden. Selbst wenn infolge einer photochemischen Reaktion eine Verunreinigung hervorgerufen wird, ist es daher ausreichend, wenn nur ein Paar von Deckgläsern 273, 274 ausgetauscht wird, ohne daß ein Paar von Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 und das optische Beugungselement 275 ausgetauscht werden müssen. Vorzugsweise ist der optische Weg zwischen dem Paar der Deckgläser 273, 274 mit Luft gefüllt, die ein größeres Ausmaß an Reinheit aufweist, mit trockener Luft, und/oder einem Inertgas wie beispielsweise Stickstoff oder Helium.

Derartige Deckgläser 273, 274 sind auch wirksam bei der voranstehend geschilderten Fliegenaugenlinse einsetzbar.

Obwohl das optische Beugungselement 275 zwischen dem eintrittsseitigen Deckglas 273 und der Mikrofliegenaugenlinse 271 bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform angeordnet ist, kann auch die Ebene des eintrittsseitigen Deckglases 273 an der Austrittsseite (der Seite der Mikrofliegenaugenlinse) mit einer beugenden Oberfläche, einer brechenden Oberfläche, oder mit einer diffuses Licht erzeugenden Oberfläche versehen sein, um so bei der Austrittsoberfläche des eintrittsseitigen Deckglases 273 eine Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung zur Verfügung zu stellen.

Wenn zum Regulieren der Leuchtdichteverteilung an der zu beleuchtenden Oberfläche (der Oberfläche des Wafers W) ein optisches Bauteil (Transmissionsgradverteilungseinstellteil) zur Einstellung der Transmissionsgradverteilung in einem optischen Weg auf der Lichtquellenseite von dem optischen Integrierer an einem Ort angeordnet ist, der im wesentlichen optisch konjugiert zur beleuchtenden Oberfläche ist, so wird es vorteilhaft in einem optischen Weg zwischen dem eintrittsseitigen Deckglas 273 und dem Mikrofliegenaugenlinse 271 angeordnet. Hierdurch kann die Verschmutzung des Transmissionsgradverteilungseinstellteils verringert werden. Vorzugsweise ist das Transmissionsgradverteilungseinstellteil in einem optischen Weg zwischen dem optischen Beugungselement 275, das als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung dient, und der Mikrofliegenaugenlinse 271 angeordnet (mehreren Linsenoberflächen, die in einer zweidimensionalen Matrix angeordnet sind).

Ein derartiges Transmissionsgradverteilungseinstellteil ist beschrieben in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. SHO 64-42821, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 7-130600, US-Patent 5,615,047, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 9-223,661, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 10-31931, dem US-Patent 6,049,374, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-21750, der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-39505, der in der WO 99/36832 und dergleichen, wobei dies nur als Beispiel zu verstehen ist.

Da eine Position in der Nähe der Eintrittsoberfläche des optischen Integrierers 207 als die bildseitige Brennpunktposition des Zoomoptiksystems 206 an dessen Eintrittsseite bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform gewählt ist, kann dann, wenn eine Lichtkomponente nullter Ordnung von den optischen Beugungselementen 251 bis 253 infolge eines Herstellungsfehler oder dergleichen ausgesandt wird, diese Lichtkomponente nullter Ordnung zu Rauschlicht werden.

Weiterhin kann austretendes Licht zwischen mehreren Linsenoberflächen zu Rauschlicht in einem Fall werden, wenn mehrere Linsenoberflächen nicht dicht gepackt in einer zweidimensionalen Matrix angeordnet sind, wie dies bei der Fliegenaugenlinse der Fall ist, oder in einem Fall, in welchem mehrere Linsenoberflächen nicht dicht gepackt zur Erleichterung der Herstellung einer Mikrofliegenaugenlinse angeordnet sind.

In einem derartigen Fall kann das austrittsseitige Deckglas mit einem Lichtabschirmteil versehen werden, um die voranstehend geschilderte Lichtkomponente nullter Ordnung und austretendes Licht abzuschirmen. Unter Bezugnahme auf die Fig. 20A und 20B wird nunmehr ein Lichtabschirmteil geschildert, das bei dem austrittsseitigen Deckglas vorhanden ist.

Die Fig. 20A und 20B sind Darstellungen zur Erläuterung der Ausbildung eines optischen Integrierers, dessen austrittsseitiges Deckglas mit einem Lichtabschirmteil versehen ist, wobei Fig. 20A eine Y-Z-Querschnittsansicht ist, und Fig. 20B eine X-Y-Aufsicht, welche die Positionsbeziehung zwischen dem austrittsseitigen Deckglas und einer Fliegenaugenlinse zeigt. Bei dem in den Fig. 20A und 20B dargestellten Beispiel verwendet der optische Integrierer die Fliegenaugenlinse anstelle der Mikrofliegenaugenlinse.

Der in Fig. 20A dargestellte optische Integrierer weist, hintereinander von der Lichteintrittsseite aus, ein eintrittsseitiges Deckglas auf, ein optisches Beugungselement 275 als Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung, eine Fliegenaugenlinse 276, die mehrere stabförmige Linsenelemente aufweist, die vereinigt in einer zweidimensionalen Matrix innerhalb der X-Y-Ebene angeordnet sind, sowie ein austrittsseitiges Deckglas 278. Diese optischen Bauteile sind so angeordnet, daß sie coaxial zueinander entlang einer optischen Achse angeordnet sind, die in der Figur durch eine gestrichelte, einfach gepunktete Linie angedeutet ist.

Das austrittsseitige Deckglas 278 ist mit einem Lichtabschirmmuster 278a versehen. Dieses Lichtabschirmmuster 278a wird beispielsweise so ausgebildet, daß Chrom oder dergleichen auf dem austrittsseitigen Deckglas 278 abgelagert wird.

Wie in Fig. 20B gezeigt ist, ist das Lichtabschirmmuster 278a innerhalb der X-Y-Ebene so angeordnet, daß es Lücken oder Spalte zwischen mehreren Linsenelementen abdeckt, welche die Fliegenaugenlinse 276 bilden (in Fig. 20B ist nur die austrittsseitige Linsenoberfläche 276b durch gestrichelte Linien angedeutet). Um die Lichtkomponente nullter Ordnung von den optischen Beugungselementen 251 bis 253 abzuschirmen, deckt dieses Lichtabschirmmuster auch Positionen in der Nähe ihrer optischen Achsen ab.

Es kann, wie in Fig. 21 gezeigt, ein Lichtabschirmmuster 277a an einem Ort in der Nähe der optischen Achse des eintrittsseitigen Deckglases 277 vorgesehen sein, um zu verhindern, daß die Lichtkomponente nullter Ordnung von den optischen Beugungselementen 251 bis 253 an der bildseitigen Brennpunktposition des Zoomoptiksystems 206 gesammelt



wird, und optische Bauteile in der Nähe dieses Sammelpunktes beschädigt (das eintrittsfreie Deckglas, die Mikrofliegenaugenlinse 271, und dergleichen), sowie Dünnschichten auf den optischen Bauteilen.

Unter Bezugnahme auf Fig. 14A wird nunmehr die Ausbildung des Zoomkondensoroptiksystems 209 erläutert. Das Zoomkondensoroptiksystem 209 weist mehrere Linsengruppen entlang der Richtung der optischen Achse auf (der Richtung Z in der Figur), und kann durch Änderung von deren Abständen seine Brennweite ändern. Hierbei trifft die objektseitige Brennpunktposition des Zoomkondensoroptiksystems 209 im wesentlichen mit der Position der Sekundärlichtquelle zusammen, die durch den optischen Integrierer 207 ausgebildet wird (Position der Irisblende 208 oder Position der Beleuchtungspupille). Weiterhin ist die Beleuchtungsschnefeldblende 210 an der bildseitigen Brennpunktposition des Zoomkondensoroptiksystems 209 angeordnet. Das Zoomkondensoroptiksystem 209 ist so ausgebildet, daß seine objektseitigen und bildseitigen Brennpunktpositionen nicht schwanken, wenn seine Brennweite geändert wird. Die Bewegung mehrerer Linsengruppen des Zoomkondensoroptiksystems 209 in Richtung der optischen Achse wird von einer sechsten Antriebseinheit 294 durchgeführt.

Wenn die Brennweite des Zoomkondensoroptiksystems 209 geändert wird, kann die Größe der Beleuchtungsfläche geändert werden, die an dem Ort der Beleuchtungsschnefeldblende 210 ausgebildet wird.

Die Beleuchtungsschnefeldblende 210 weist beispielsweise vier Lichtabschirmflügel auf, von denen zwei ein Paar von Lichtabschirmseiten entlang der Richtung X in der Figur aufweisen, wogegen die übrigen zwei Lichtabschirmflügel ein Paar von Lichtabschirmseiten entlang der Richtung Y in der Figur aufweisen. Diese vier Lichtabschirmflügel werden von einer siebten Antriebseinheit 297 angetrieben, so daß die Längs- und Querabmessungen des rechteckigen Öffnungsabschnitts, der durch die Lichtabschirmseiten der vier Lichtabschirmflügel ausgebildet wird, auf vorgegebene Werte eingestellt werden können. Statt der vier Lichtabschirmflügel können hierbei auch zwei Gruppen von Lichtabschirmteilen verwendet werden, die jeweils L-förmige, orthogonale Lichtabschirmseiten aufweisen, die innerhalb der X-Y-Ebene bewegt werden können.

Dies führt dazu, daß die Größe der Beleuchtungsfläche, die auf einer Strichplatte ausgebildet wird, entsprechend den Eigenschaften der verwendeten Strichplatte geändert werden kann, ohne irgendwelche Lichtenergiemengenverluste. Obwohl sich die Position der Beleuchtungsschnefeldblende 210 und daher die numerische Apertur des Beleuchtungslichts auf der Strichplatte R oder dem Wafer W ändern, wenn die Brennweite des Zoomkondensoroptiksystems 209 geändert wird, wird dies kompensiert, wenn die Größe der Sekundärlichtquelle dadurch geändert wird, daß die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 geändert wird, wie dies voranstehend geschildert wurde.

Die sechste Antriebseinheit 294 und die siebte Antriebseinheit 297 werden ebenfalls von der Steuereinheit 214 gesteuert.

Nunmehr wird der Betriebsablauf der Steuereinheit 214 erläutert. Die Steuereinheit 214 ist mit einer Eingabeeinheit 215 verbunden, die beispielsweise eine Konsole oder einen Strichplatten-Strichcodeleser aufweist, der in einem Übertragungsweg der Strichplatte R angeordnet ist.

Information in Bezug auf verschiedene Arten von Strichplatten, die hintereinander belichtet werden sollen, Information in Bezug auf die Beleuchtungsbedingungen verschiedener Arten von Strichplatten, Information in Bezug auf die Belichtungsbedingungen verschiedener Arten von Wafern und dergleichen werden der Steuereinheit 214 mit Hilfe der Eingabeeinheit 215 zugeführt.

Die Steuereinheit 214 speichert Information in Bezug auf gewünschte Größen der Beleuchtungsfläche (Belichtungsfläche), die optimale numerische Apertur für die Beleuchtung, die optimale Linienbreite (Auflösung), die gewünschte Tiefenschärfe, und dergleichen, für verschiedene Arten von Strichplatten und Wafern, in ihrem internen Speicher, und liefert geeignete Steuersignale an die erste bis siebte Antriebseinheit in Reaktion auf die Eingabe von der Eingabeeinheit 215.

Wenn beispielsweise eine konventionelle, kreisförmige Beleuchtung mit einer gewünschten Größe der Beleuchtungsfläche, einer optimalen numerischen Apertur für die Beleuchtung, der optimalen Auflösung, und der gewünschten Tiefenschärfe durchgeführt wird, so ordnet die erste Antriebseinheit 234 das Loch 233 in dem optischen Beleuchtungsweg entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 an, und ordnet die dritte Antriebseinheit 254 das optische Beugungselement 253 für konventionelle Beleuchtung in dem optischen Beleuchtungsweg entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 an. Um eine gewünschte Größe der Beleuchtungsfläche auf der Strichplatte R zu erzielen, stellt dann die sechste Antriebseinheit 294 die Brennweite des Zoomkondensoroptiksystems 209 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein, und stellt die siebte Antriebseinheit 294 die Größe und die Form des Öffnungsabschnitts der Beleuchtungsschnefeldblende 210 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein. Um eine gewünschte numerische Apertur für die Beleuchtung auf der Strichplatte R zu erzielen, stellt die vierte Antriebseinheit 264 die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein. Zur Festlegung des Außendurchmessers der kreisförmigen Sekundärlichtquelle, die durch den optischen Integrierer 207 in einem Zustand ausgebildet wird, in welchem ein Lichtenergiemengenverlust in vorteilhafter Weise unterdrückt wird, stellt die fünfte Antriebseinheit 284 den Durchmesser zur Öffnung der Irisblende 208 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein.

Da die Sekundärlichtquelle, die eine vorbestimmte Größe aufweist, durch das Zoomoptiksystem 206 ohne Absperren des Lichtstrahls ausgebildet wird, kann bei der vorliegenden Ausführungsform die Irisblende 208 auf einen Öffnungsdurchmesser eingestellt werden, der dazu ausreicht, das Blendlicht außerhalb der kreisförmigen Sekundärlichtquelle abzusperren.

Wenn der Vorgang der Änderung der Brennweite des Zoomoptiksystems 204, bewirkt durch die vierte Antriebseinheit 264, und der Vorgang der Änderung der Brennweite des Zoomkondensoroptiksystems 209, bewirkt durch die sechste Antriebseinheit 294, miteinander verbunden werden, so können die Größe der Beleuchtungsfläche auf der Strichplatte R und die numerische Apertur für die Beleuchtung unabhängig voneinander geändert werden.

Wenn eine ringförmige Beleuchtung bei einer gewünschten Größe der Beleuchtungsfläche durchgeführt wird, bei einer optimalen numerischen Apertur für die Beleuchtung, einer optimalen Auflösung, und der gewünschten Tiefenschärfe, so ordnet die erste Antriebseinheit 234 die Mikrofliegenaugenlinse 231 für ringförmige Beleuchtung in dem op-



tischen Beleuchtungsweg entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 an, und ordnet die dritte Antriebseinheit 254 das optische Beugungselement 251 für die ringförmige Beleuchtung in dem optischen Beleuchtungsweg entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 an. Um eine gewünschte Größe der Beleuchtungsfläche auf Strichplatte R zu erhalten, stellt dann die sechste Antriebseinheit 294 die Brennweite des Zoomkondensoroptiksystems 209 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein, und stellt die siebte Antriebseinheit 294 die Größe und Form des Öffnungsabschnitts der Beleuchtungssechfeldblende 210 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein. Um eine gewünschte numerische Apertur für die Beleuchtung auf der Strichplatte R zu erhalten, stellt die vierte Antriebseinheit 264 die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein. Zur Festlegung des Außendurchmessers der ringförmigen Sekundärlichtquelle, die von dem optischen Integrierer 207 in einem Zustand erzeugt wird, in welchem ein Lichtenergiemengenverlust in vorteilhafter Weise unterdrückt wird, stellt die fünfte Antriebseinheit 284 den Durchmesser der Öffnung der Irisblende 208 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein.

Da die ringförmige Sekundärlichtquelle, die ein vorbestimmtes Ringverhältnis und einen vorgegebenen Außendurchmesser aufweist, durch das optische Beugungselement 251 für ringförmige Beleuchtung und die Zoomoptiksysteme 204, 206 ausgebildet wird, ohne den Lichtstrahl abzusperren, kann die Irisblende 208 bei der vorliegenden Ausführungsform auf einen Öffnungsdurchmesser eingestellt werden, der dazu ausreicht, das Blendlicht außerhalb der ringförmigen Sekundärlichtquelle abzusperren.

Die voranstehend erwähnte numerische Apertur für die Beleuchtung zum Zeitpunkt der ringförmigen Beleuchtung wird durch einen Lichtstrahl definiert, der von der äußersten Position der ringförmigen Sekundärlichtquelle ausgesandt wird.

Wenn eine quadrupolare Beleuchtung mit einer gewünschten Größe der Beleuchtungsfläche durchgeführt wird, bei einer optimalen numerischen Apertur für die Beleuchtung, bei optimaler Auflösung, und der gewünschten Tiefenschärfe, so ordnet die erste Antriebseinheit 234 die Mikrofliegenaugenlinse 232 für quadrupolare Beleuchtung in dem optischen Beleuchtungsweg entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 an, und ordnet die dritte Antriebseinheit 254 das optische Beugungselement 252 für quadrupolare Beleuchtung in dem optischen Beleuchtungsweg entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 an. Um eine gewünschte Größe der Beleuchtungsfläche auf der Strichplatte R zu erzielen, stellt dann die sechste Antriebseinheit 294 die Brennweite des Zoomkondensoroptiksystems 209 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein, und stellt die siebte Antriebseinheit 294 die Größe und die Form des Öffnungsabschnitts der Beleuchtungssechfeldblende 210 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein. Um eine gewünschte numerische Apertur für die Beleuchtung auf der Strichplatte R zu erhalten, stellt die vierte Antriebseinheit 264 die Brennweite des Zoomoptiksystems 206 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein. Zum Absperren des Blendlichtes außerhalb der quadrupolaren Sekundärlichtquelle stellt die fünfte Antriebseinheit 284 den Durchmesser der Öffnung der Irisblende 208 entsprechend einem Befehl von der Steuereinheit 214 ein.

Die voranstehende erwähnte numerische Apertur für die Beleuchtung zum Zeitpunkt der quadrupolaren Beleuchtung wird durch einen Lichtstrahl festgelegt, der von der Position am weitesten entfernt von der optischen Achse in der quadrupolaren Sekundärlichtquelle ausgesandt wird.

Obwohl das Kondensoroptiksystem (Zoomkondensoroptiksystem 209) zum Führen des Lichtstrahls von der Sekundärlichtquelle zur Beleuchtungssechfeldblende, die optisch konjugiert zur zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, so ausgebildet ist, daß es bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform eine variable Brennweite aufweist, kann das Kondensoroptiksystem auch eine im wesentlichen feste Brennweite aufweisen.

Wie voranstehend erwähnt kann die Leuchtdichteverteilung innerhalb der Belichtungsfläche auf dem Wafer W schwanken, wenn die Beleuchtungsbedingungen in Bezug auf die Strichplatte R (die Belichtungsbedingungen in Bezug auf den Wafer W) geändert werden. In einem derartigen Fall tritt eine Belichtungsmengenverteilung entsprechend einer ungleichförmigen Leuchtdichteverteilung innerhalb der Belichtungsfläche bei einer Sammelbelichtungs-Belichtungsprojektionseinrichtung auf, wogegen eine Belichtungsmengenverteilung entlang einer Nicht-Abtastrichtung bei einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung des Abtasttyps auftritt.

Bei der vorliegenden Ausführungsform sind, da die Anzahl an Wellenfrontunterteilungen, die durch den optischen Integrierer hervorgerufen werden, sehr groß ist, die Schwankung der Leuchtdichte an der zu beleuchtenden Oberfläche und die Telezentritätsschwankungen dort ausreichend gering, selbst wenn die Beleuchtungsbedingungen (Belichtungsbedingungen) geändert werden.

Wenn das Ausmaß der Schwankungen nicht mehr hinnehmbar ist, ist es allerdings vorzuziehen, daß die Schwankungen der Leuchtdichteverteilung innerhalb der Belichtungsfläche, und ebenso die Änderung der Beleuchtungsbedingungen in Bezug auf die Strichplatte R (Belichtungsbedingungen in Bezug auf den Wafer W) vorher festgestellt werden, und die Leuchtdichteverteilung (die Belichtungsmengenverteilung entlang der Richtung, in der nicht abgetastet wird (Richtung X)) bei der Änderung der Beleuchtungsbedingungen (oder Belichtungsbedingungen) korrigiert wird.

Beispiele für Verfahren zum Korrigieren der Leuchtdichteverteilung (oder der Belichtungsmengenverteilung) umfassen:

(1) ein Verfahren, bei dem zumindest ein Teil von Linsengruppen, welche das Zoomkondensoroptiksystem 209 bilden, in Bezug auf zumindest eine Richtung bewegt wird, die ausgewählt ist unter der Richtung der optischen Achse, eine Richtung orthogonal zur optischen Achse, und einer Drehrichtung, deren Achse eine Richtung orthogonal zur optischen Achse ist;

(2) ein Verfahren, bei welchem mehrere Gruppen von Filtern, die jeweils eine derartige Winkelcharakteristik aufweisen, daß der Transmissionsgrad sich in Abhängigkeit von dem Einfallswinkel ändert, so bereitgestellt werden, daß Winkleigenschaften erzielt werden, die sich voneinander unterscheiden, wobei die Filter selektiv in einen optischen Weg zwischen dem optischen Integrierer 207 und dem Zoomkondensoroptiksystem 209 eingefügt werden (in den optischen Weg, bei welchem der von der optischen Achse der Sekundärlichtquelle ausgesandte Lichtstrahl nicht parallel zur optischen Achse verläuft), oder ein Verfahren, bei welchem der Kippwinkel eines Filters zusätz-

lich zum Austausch der  $207$  eingestellt wird;

- (3) ein Verfahren, bei welchem mehrere Transmissionsgradverteilungseinstellteile, die im wesentlichen optisch konjugiert zur zu beleuchtenden Oberfläche in einem optischen Weg an der Lichtquellenseite von dem optischen Integrierer  $207$  angeordnet werden, um die Transmissionsgradverteilung einzustellen, so bereitgestellt werden, daß sie voneinander verschiedene Transmissionsgradverteilungen erzeugen, und diese Teile ausgetauscht werden; und
- (4) ein Verfahren, bei welchem die Form der Öffnung der Beleuchtungsschfeldblende  $210$  so verformt wird, daß die Öffnungsbreite entlang der Abtastrichtung zu einer vorbestimmten Verteilung in einer Richtung führt, in welcher nicht abgetastet wird.

Eine Belichtungsprojektionseinrichtung mit Sammelbelichtung kann eine vorgegebene Leuchtdichteverteilung auf der zu beleuchtenden Oberfläche dadurch bereitstellen, daß eines der voranstehend geschilderten Verfahren (1) bis (3) verwendet wird, oder frei wählbar die voranstehend geschilderten Verfahren (1) bis (3) kombiniert werden. Eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung des Abtasttyps kann frei wählbar die Belichtungsmengenverteilung in einer Richtung, in welcher nicht abgetastet wird, auf der zu beleuchtenden Oberfläche dadurch steuern, daß eines der voranstehend geschilderten Verfahren (1) bis (4) eingesetzt wird, oder frei wählbar die voranstehend geschilderten Verfahren (1) bis (4) kombiniert werden.

Als voranstehend geschildertes Verfahren (1) kann jenes, das in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 10-275771 (US-Patent 627 095) und dergleichen beschrieben ist, zum Beispiel verwendet werden. Als das Voranstehend geschilderte Verfahren (2) kann beispielsweise jenes verwendet werden, das in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 9-190969 beschrieben ist. In Bezug auf das voranstehend geschilderte Verfahren (3) können Transmissionsgradverteilungseinstellteile austauschbar eingesetzt werden, wie sie beispielsweise beschrieben sind in der voranstehend erwähnten japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. SHO 64-42821, in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 7-130600 (US-Patent 5 615 047), in der japanischen offengelegten Patentanmeldung NR. HEI 9-2236661, in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 10-319321 (US-Patent 6 049 374), in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-21750, in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-39505, in WO 99/36832, und dergleichen. In Bezug auf das voranstehend geschilderte Verfahren (4) lassen sich beispielsweise jene einsetzen, die in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 7-1423313 (EP 633506 A) beschrieben sind, in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. HEI 10-340854 (US-Patent 5 895 737), in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-58442 (EP 952491 A), in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-82655, in der japanischen offengelegten Patentanmeldung Nr. 2000-114164, und dergleichen.

Als Verfahren zur Korrektur einer Ungleichförmigkeit der Leuchtdichte ist nicht nur jenes Verfahren einsetzbar, bei welchem die Schwankung der Leuchtdichteverteilung innerhalb des Belichtungsbereiches zusammen mit der Änderung der Beleuchtungsbedingungen in Bezug auf die Strichplatte R (Belichtungsbedingungen in Bezug auf den Wafer W) vorher festgestellt wird, sondern ebenfalls ein Verfahren, bei welchem die Schwankung der Leuchtdichteverteilung auf dem Wafer W zu dem Zeitpunkt gemessen wird, an welchem die Beleuchtungsbedingungen geändert werden, und das so gemessene Ausmaß der Schwankungen korrigiert wird.

Beispiele für das Verfahren zum Korrigieren von Schwankungen in Bezug auf die Telezentrität umfassen eine Vorgehensweise, bei welcher die Position des optischen Integrierers  $207$  in Richtung der optischen Achse eingestellt wird, sowie eine Vorgehensweise, bei welcher ein Teil der Linsengruppen des Zoomkondensoroptiksystems  $209$  gekippt wird.

Obwohl die optischen Beugungselemente  $251$  bis  $253$  zur Ausbildung ringförmiger, multipolarer, und kreisförmiger Sekundärlichtquellen ohne Lichtenergiemengenverluste bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform verwendet werden, kann auch anstelle der optischen Beugungselemente ein brechendes optisches Bauteil zur Ausbildung einer ringförmigen, multipolaren, oder kreisförmigen Beleuchtungsfläche im Fernfeld nach einer Brechwirkung eingesetzt werden. Ein Beispiel für ein derartiges brechendes optisches Bauteil ist in der WO 99/49505 beschrieben.

Bei der vorliegenden Ausführungsform sind nicht nur die einzelnen Linsenelemente, welche die optische Beleuchtungseinrichtung bilden (Linsenelemente in dem afocalen Zoomoptiksystem  $200$ , in dem Zoomoptiksystem  $206$ , dem Zoomkondensoroptiksystem  $209$ , und in dem ein Beleuchtungsschfeldblendenbild ausbildenden Optiksystem  $211$ ) und das optische Projektionssystem PL bilden, sondern auch die Oberflächen der Mikrofliegenaugenlinsen  $231$ ,  $232$ ,  $271$ ,  $272$ , die optischen Beugungselemente  $251$  bis  $253$ ,  $275$  und die Deckgläser  $273$ ,  $274$  mit einem Reflexionsverhinderungsfilm versehen, der dazu ausgebildet ist, das Auftreten von Reflexionen in Bezug auf die Wellenlänge des Beleuchtungslichts zu verhindern. Insbesondere kann, da die Mikrofliegenaugenlinsen  $231$ ,  $232$ ,  $271$ ,  $272$ , und die optischen Beugungselemente  $251$  bis  $253$ ,  $275$  mit einem Reflexionsverhinderungsfilm versehen sind, dort eine Reflexion unterdrückt werden, wodurch die Leuchtdichte auf der zu beleuchtenden Oberfläche wirksam erhöht werden kann. Da bei dem optischen Beugungselement Lichtenergiemengenverluste auftreten können, da sein Beugungswirkungsgrad nicht gleich  $100\%$  ist, ist die Verringerung des Lichtenergiemengenverlustes, die durch den Reflexionsverhinderungsfilm bewirkt wird, wesentlich zur Erhöhung der Leuchtdichte auf der zu beleuchtenden Oberfläche.

Hierbei umfassen beispielsweise für Materialien, welche den Reflexionsverhinderungsfilm bilden, folgende Substanzen:  $\text{AlF}_3$  (Aluminiumfluorid);  $\text{BaF}_2$  (Bariumfluorid);  $\text{CaF}_2$  (Calciumfluorid);  $\text{CeF}_3$  (Cerfluorid);  $\text{CsF}$  (Cesiumfluorid);  $\text{ErF}_3$  (Erbiumfluorid);  $\text{GdF}_3$  (Gadoliniumfluorid);  $\text{HfF}_3$  (Hafniumfluorid);  $\text{LaF}_3$  (Lanthanfluorid);  $\text{LiF}$  (Lithiumfluorid);  $\text{MgF}_2$  (Magnesiumfluorid);  $\text{NaF}$  (Natriumfluorid);  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  (Cryolit);  $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$  (Chiolit);  $\text{NdF}_3$  (Neodymfluorid);  $\text{PbF}_2$  (Bleifluorid);  $\text{ScF}_3$  (Scandiumfluorid);  $\text{SrF}_2$  (Strontiumfluorid);  $\text{TbF}_3$  (Terbiumfluorid);  $\text{ThF}_4$  (Thoriumfluorid);  $\text{YF}_3$  (Yttriumfluorid);  $\text{YbF}_3$  (Ytterbiumfluorid);  $\text{SmF}_3$  (Samariumfluorid);  $\text{DyF}_3$  (Dysprosiumfluorid);  $\text{PrF}_3$  (Praseodymfluorid);  $\text{EuF}_3$  (Europiumfluorid);  $\text{HoF}_3$  (Holmiumfluorid); Wismuttrifluorid ( $\text{BiF}_3$ ); ein Fluorharz, welches zumindest ein Material enthält, das aus folgender Gruppe ausgewählt ist: Tetrafluorethylenharz (Polytetrafluorethylen, PTFE), Chlorotrifluorethylenharz (Polychlorotrifluorethylen, PCTFE), Vinylfluoridharz (Polyvinylfluorid, PVF), Ethylentetrafluorid/Propylenhexafluorid-Copolymer (fluoriertes Ethylen-Propylenharz, FEP), Vinylidenfluoridharz (Polyvinylidenfluorid, PVDF), und Polyacetal (POM);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Aluminiumoxid);  $\text{SiO}_2$  (Siliziumoxid);  $\text{GeO}_2$  (Germaniumoxid);  $\text{ZrO}_2$  (Zirkoniumoxid);  $\text{TiO}_2$  (Titanoxid);  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  (Tantaloxid);  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (Nioboxid);  $\text{HfO}_2$  (Hafniumoxid);  $\text{CeO}_2$  (Ceroxid);  $\text{MgO}$  (Ma-

gnesiumoxid);  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  (Neodymoxid);  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  (Gadoliniumoxid);  $\text{ThO}_2$  (Thoriumoxid);  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (Yttriumoxid);  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  (Scandiumoxid);  $\text{La}_2\text{O}_3$  (Lanthanoxid);  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  (Praseodymoxid);  $\text{ZnO}$  (Zinkoxid);  $\text{PbO}$  (Bleioxid); eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien enthält, die aus der Gruppe von Siliziumoxiden ausgewählt sind; eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Hafniumoxiden ausgewählt sind; und eine Mischungsgruppe und eine Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

Hierbei wird bei der vorliegenden Ausführungsform zumindest eine Art eines Materials, das aus den voranstehend geschilderten Gruppen ausgewählt ist, als Material für den reflexionsverhindernden Film verwendet.

Hierbei umfassen Beispiele für eine Vorgehensweise, die zur Herstellung des Reflexionsverhinderungsfilms einsetzbar ist, der aus dem voranstehend geschilderten Material besteht, und zwar auf den Mikrofliegenaugenlinsen 231, 232, 271, 272 und den optischen Beugungselementen 251 bis 253, 275 das Vakuumdampfablagerungsverfahren, das ionenunterstützte Dampfablagerungsverfahren, das Ionenplattierungsverfahren, das Clusterionenstrahlverfahren, das Sputterverfahren, das Ionenstrahlsputterverfahren, das CVD-Verfahren (Verfahren der chemischen Dampfablagerung), das Eintauchbeschichtungsverfahren, das Schleuderbeschichtungsverfahren, das Miniskusbeschichtungsverfahren, und das Sol-Gelverfahren.

Nunmehr wird kurz eine Vorgehensweise zur Herstellung der Mikrofliegenaugenlinsen 231, 232, 271, 272 und der optischen Beugungselemente 251 bis 253, 275 beschrieben. Zuerst werden Formverteilungen von Linsenoberflächen der Mikrofliegenaugenlinsen oder Beugungsmusterverteilungen von optischen Beugungselementen festgelegt. Dann wird ein Belichtungsoriginal auf der Grundlage der konstruktiven Daten hergestellt. Daraufhin wird ein Substrat für Mikrofliegenaugenlinsen oder optische Beugungselemente vorbereitet, und ein lichtempfindliches Material auf das Substrat aufgebracht. Ein Muster auf dem Belichtungsoriginal wird auf das Substrat übertragen, das mit dem lichtempfindlichen Material beschichtet ist, mit einem photolithographischen Verfahren. Danach wird das Substrat entwickelt, und mit dem entwickelten Muster, das als Maske verwendet wird, geätzt. Durch die Ätzung werden mehrere Linsenoberflächen (im Falle von Mikrofliegenaugenlinsen) oder ein Beugungsmuster (optisches Beugungselement) auf dem Substrat ausgebildet. Dieser Schritt der Belichtung, Entwicklung und Ätzung ist nicht auf einen Schritt beschränkt. Danach wird das lichtempfindliche Material von dem Substrat entfernt, und wird ein Dünnschicht aus dem voranstehend angegebenen Material auf einer Oberfläche des Substrats ausgebildet, das mit mehreren Linsenoberflächen (im Falle von Mikrofliegenaugenlinsen) oder einem Beugungsmuster (optisches Beugungselement) versehen ist, entsprechend der voranstehend geschilderten Vorgehensweise, um so einen Reflexionsverhinderungsfilm auszubilden.

Dies führt dazu, daß Lichtenergiemengenverluste in den Mikrofliegenaugenlinsen 231, 232, 271, 272 und den optischen Beugungselementen 251 bis 253, 275 sowie Blendlicht infolge von Reflexionen an deren Grenzflächen verringert werden können, wodurch die Leuchtdichte auf der zu beleuchtenden Oberfläche (auf der Oberfläche des Wafers W) unter Beibehaltung einer vorteilhaften Gleichförmigkeit der Leuchtdichte erhöht werden kann.

Als Material für das Substrat zur Ausbildung der Mikrofliegenaugenlinsen 231, 232, 271, 272 und der optischen Beugungselemente 251 bis 253, 275 können Silikatglas, Fluorid, und mit Fluorid dotiertes Silikatglas verwendet werden. Wenn die Genauigkeit der Ätzung berücksichtigt wird, werden Silikatglas oder mit Fluor dotiertes Silikatglas vorzugsweise als Substratmaterial verwendet. Wenn die Wellenlänge (157 nm) eines  $\text{F}_2$ -Lasers als Beleuchtungslicht verwendet wird, dann wird vorzugsweise mit Fluor dotiertes Silikatglas als Substratmaterial verwendet.

Obwohl die voranstehenden Erläuterungen einen Fall betreffen, in welchem ein optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps (Mikrofliegenaugenlinse oder Fliegenaugenlinse), der Mikrolinsenoberflächen aufweist, die in einer zweidimensionalen Matrix angeordnet sind, als optischer Integrierer verwendet wird, kann auch als der optische Integrierer ein Integrierer mit innerer Reflexion (optischer Integrierer des Stangentyps, Licht-Tunnel, oder Licht-Rohr) verwendet werden, welcher die innere Reflexion eines säulenförmigen optischen Bauteils nutzt. In diesem Fall kann anstelle der Mikrofliegenaugenlinsen 271, 272 und des Zoomkondensoroptiksystems 209 in dem optischen Integrierer 207 von Fig. 14A ein Lichtsammeloptiksystem zur Ausbildung eines Fernfeldbereichs des optischen Beugungselements 275 auf der Lichteintrittsoberfläche des optischen Integrierers des Typs mit innerer Reflexion und des optischen Integrierers des Typs mit innerer Reflexion, der eine Lichtaustrittsoberfläche aufweist, die an der Position der Beleuchtungssechfeldblende oder in deren Nähe angeordnet ist. In diesem Fall kann die Größe des Sammelpunktes an der Lichteintrittsoberflächenposition des optischen Integrierers des Typs mit innerer Reflexion durch das optische Beugungselement 275 vergrößert werden, welches dazu wirksam ist, Beschädigungen bei der Lichteintrittsoberfläche zu verringern, und können die Abmessungen virtueller Bilder mehrerer Lichtquellen, die ansich an der Lichteintrittsoberfläche ausgebildet werden, durch das optische Beugungselement 275 vergrößert werden, was in der Hinsicht wirksam ist, daß der Wert für  $\sigma$  kontinuierlich eingestellt werden kann.

Obwohl bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform als Beispiel eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung des Abtasttyps erläutert wird, ist die vorliegende Erfindung auch bei einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung des Sammeltyps einsetzbar.

Die Projektionsvergrößerung des optischen Projektionssystems kann nicht nur eine Verkleinerung sein, sondern auch eine Vergrößerung, oder im Verhältnis von 1 : 1 stehen (Einheitsvergrößerung). Als optisches Projektionssystem ist jedes unter folgenden Systemen einsetzbar: optisches System des Brechungstyps, katadioptrisches Optiksystem, und kataptrisches optisches System.

Obwohl bei der voranstehend geschilderten Ausführungsform die Wellenlänge, die von der Lichtquelle 201 zur Verfügung gestellt wird, 248 nm oder 193 nm ist, kann auch als Lichtquelle 201 ein  $\text{F}_2$ -Laser eingesetzt werden, der Licht mit einer Wellenlänge von 157 nm im Vakuumultraviolettbereich liefert.

Wenn einzelne optische Bauteile und dergleichen bei den voranstehend geschilderten Ausführungsformen elektrisch, mechanisch oder optisch miteinander verbunden sind, um Funktionen wie voranstehend geschildert bereitzustellen, kann eine Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform zusammengebaut werden.

Wenn eine Maske mit einem Beleuchtungssystem IL (Beleuchtungsschritt) beleuchtet wird, und ein lichtempfindliches Substrat mit einer Abtastbelichtung oder einer Sammelbelichtung mit einem Übertragungsmuster belichtet wird,

das in einer Maske vorhanden ist, mit Hilfe eines optischen Projektionssystems PL, welches aus optischen Projektionsmodulen besteht (Beleuchtungsschritt), dann kann ein Mikrogerät (Halbleitergerät, Flüssigkristallanzeigergerät, Dünnfilmmagnetkopf und dergleichen) hergestellt werden. Ein Beispiel für die Vorgehensweise zur Erzeugung eines Halbleitergeräts als Mikrogerät durch Ausbildung eines vorbestimmten Schaltungsmusters auf einem Wafer oder dergleichen, der als lichtempfindliches Substrat (Werkstück) dient, mittels Einsatz der Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der voranstehend geschilderten Ausführungsform, wird nachstehend unter Bezugnahme auf das Flußdiagramm von Fig. 22 erläutert.

Zuerst wird im Schritt 301 von Fig. 22 ein Metallfilm auf einem Posten von Wafern abgelagert. Dann wird im Schritt 302 ein Photolack auf dem Metallfilm dieses Postens von Wafern aufgebracht. Daraufhin wird im Schritt 303 bei der voranstehenden Ausführungsform dargestellte Photolithographie-Belichtungseinrichtung so eingesetzt, daß ein Bild eines Musters auf der Maske hintereinander auf einzelne Aufnahmeflächen auf den einen Posten von Wafern projiziert und übertragen wird, durch das optische Projektionssystem (optische Projektionsmodule) der Photolithographie-Belichtungseinrichtung. Danach wird der Photolack auf dem Posten der Wafer im Schritt 304 entwickelt, und dann wird eine Ätzung bei dem Posten der Wafer durchgeführt, wobei das Photolackmuster als die Maske eingesetzt wird, im Schritt 305, wodurch ein Schaltungsmuster entsprechend dem Muster auf der Maske in jedem Aufnahmebereich auf jedem Wafer ausgebildet wird. Danach werden Schaltungsmuster oberer Schichten ausgebildet usw., wodurch ein Gerät wie beispielsweise ein Halbleitergerät hergestellt wird. Mit dem voranstehend geschilderten Verfahren zur Herstellung eines Halbleitergeräts kann man ein Halbleitergerät erhalten, das ein sehr feines Schaltungsmuster aufweist, und zwar mit einer vorteilhaften Durchsatzrate.

Weiterhin kann mit der Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der voranstehend geschilderten Ausführungsform ein Flüssigkristallanzeigergerät als Mikrogerät dadurch erhalten werden, daß ein vorbestimmtes Muster (Schaltungsmuster, Elektrodenmuster, und dergleichen) auf einer Platte (Glassubstrat) ausgebildet wird. Ein Beispiel für diese Vorgehensweise wird nachstehend unter Bezugnahme auf das Flußdiagramm von Fig. 23 erläutert.

In Fig. 23 wird ein sogenannter Photolithographieschritt, in welchem die Photolithographie-Belichtungseinrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform zur Übertragen und zum Projizieren eines Maskenmusters auf ein lichtempfindliches Substrat (ein Glassubstrat oder dergleichen, beschichtet mit Photolack) verwendet wird, in einem Musterausbildungsschritt 401 eingesetzt. Infolge dieses Photolithographieschrittes wird ein vorbestimmtes Muster, das eine Anzahl an Elektroden und dergleichen enthält, auf dem lichtempfindlichen Substrat ausgebildet. Danach wird mit dem belichteten Substrat eine Abfolge einzelner Schritte durchgeführt, beispielsweise ein Entwicklungsschritt, ein Ätzschritt, und ein Strichplattenabschleifschritt, so daß ein vorbestimmtes Muster auf dem Substrat ausgebildet wird, und dann geht der Betriebsablauf zu einem nachfolgenden Farbfiltererzeugungsschritt 402 über.

Dann wird im Farbfilterausbildungsschritt 402 ein Farbfilter, bei welchem eine Anzahl von jeweils drei Punkten umfassenden Gruppen entsprechend R (Rot), G (Grün) und B (Blau) in einer Matrix angeordnet ist, oder mehrere jeweils drei Streifen aufweisende Filtergruppen aus R, G und B in einer horizontalen Abtastlinienrichtung vorgesehen sind, ausgebildet. Nach dem Farbfilterausbildungsschritt 402 wird ein Zellenzusammenbauschritt 403 durchgeführt. In dem Zellenzusammenbauschritt 403 wird das Substrat, das ein vorbestimmtes Muster aufweist, das in dem Musterausbildungsschritt 401 erhalten wurde, das Farbfilter, das in dem Farbfilterausbildungsschritt 402 erhalten wurde, und dergleichen dazu verwendet, ein Flüssigkristallfeld (eine Flüssigkristallzelle) zusammenzubauen. Beispielsweise wird in dem Zellenzusammenbauschritt 403 ein Flüssigkristall zwischen das Substrat, das ein vorbestimmtes Muster aufweist, das in dem Musterausbildungsschritt 401 erhalten wurde, und dem Farbfilter eingespritzt, das in dem Farbfilterausbildungsschritt 402 erhalten wurde, um so das Flüssigkristallfeld (die Flüssigkristallzelle) herzustellen.

Danach werden in dem Modulzusammenbauschritt 404 einzelne Teile, beispielsweise eine elektrische Schaltung, um es dem zusammengebauten Flüssigkristallfeld (Flüssigkristallzelle) zu ermöglichen, Anzeigeoperationen durchzuführen, eine Rückbeleuchtung und dergleichen, zusammengebaut, um so ein Flüssigkristallanzeigergerät zu erhalten. Mit dem voranstehend geschilderten Verfahren zur Herstellung eines Flüssigkristallanzeigergeräts kann mit vorteilhafter Durchsatzrate ein Flüssigkristallanzeigergerät erhalten werden, welches ein äußerst feines Schaltungsmuster aufweist.

Daher kann, ohne auf die voranstehend geschilderten Ausführungsform eingeschränkt zu sein, die vorliegende Erfindung innerhalb ihres Umfangs auf verschiedene Arten und Weisen abgeändert werden.

Wie voranstehend erläutert, können die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Beschädigungen bei optischen Bauteilen in optischen Beleuchtungseinrichtungen verringern, oder den Wirkungsgrad der Leuchtdichte optischer Beleuchtungseinrichtungen verbessern, und können die Bilderzeugungsleistungen verbessern, wenn sie bei einer Belichtungsprojektionseinrichtung eingesetzt werden.

Aufgrund der voranstehenden Beschreibung der Erfindung wird deutlich, daß sich die Erfindung auf zahlreiche Arten und Weisen abändern läßt. Derartige Abänderungen sollen nicht als Abkehr vom Wesen und Umfang der Erfindung angesehen werden, da sich Wesen und Umfang der vorliegenden Erfindung aus der Gesamtheit der vorliegenden Anmeldeunterlagen ergeben, und vom Umfang der Patentansprüche umfaßt sein sollen.

#### Patentansprüche

1. Optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps, bei welchem eine Anzahl an Mikrooptikelementen zweidimensional angeordnet ist, zur Ausbildung einer Anzahl an Lichtquellen durch Unterteilung einer Wellenfront eines einfallenden Lichtstrahls; wobei jedes der Mikrooptikelemente eine rechteckige Eintrittsoberfläche und eine rechteckige Austrittsoberfläche aufweist, und zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

$$(d_2/2)(D_2/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

wobei  $f$  die Brennweite jedes der Mikrooptikelemente ist,  $d_1$  die Länge einer Seite der Eintrittsoberfläche jedes der Mikrooptikelemente,  $d_2$  die Länge der anderen Seite der Eintrittsoberfläche jedes der Mikrooptikelemente,  $D_1$  die Länge der Seite der Austrittsoberfläche jedes der Mikrooptikelemente entsprechend der einen Seite der Eintrittsoberfläche,  $d_2$  die Länge der Seite der Austrittsoberfläche in jedes der Mikrooptikelemente entsprechend der anderen Seite der Eintrittsoberfläche, und  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls.

2. Optischer Integrierer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrooptikelement eine Mikrolinse ist.  
3. Optischer Integrierer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge  $d_1$  der einen Seite der Eintrittsoberfläche größer als die Länge  $d_2$  der anderen Seite der Eintrittsoberfläche ist, und die Bedingung

$$(d_1/2)(D_1/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

erfüllt ist.

4. Optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps, der eine Anzahl an zweidimensional angeordneten Mikrooptikelementen aufweist, zur Ausbildung einer Anzahl an Lichtquellen durch Unterteilung einer Wellenfront eines einfallenden Lichtstrahls;

wobei jedes der Mikrooptikelemente eine rechteckige Eintrittsoberfläche und eine kreisförmige oder regelmäßig sechseckige Austrittsoberfläche aufweist, und zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

$$(d_2/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

wobei  $f$  die Brennweite jedes der Mikrooptikelemente ist,  $d_1$  die Länge der einen Seite der Eintrittsoberfläche jedes der Mikrooptikelemente,  $d_2$  die Länge der anderen Seite der Eintrittsoberfläche jeder der Mikrooptikelemente,  $D$  der Durchmesser der kreisförmigen Austrittsoberfläche bzw. der Durchmesser eines Kreises ist, welcher die regelmäßig sechseckige Austrittsoberfläche jedes der Mikrooptikelemente umschreibt, und  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls ist.

5. Optischer Integrierer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrooptikelement eine Mikrolinse aufweist.

6. Optischer Integrierer nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge  $d_1$  der einen Seite der Eintrittsoberfläche größer als die Länge  $d_2$  der anderen Seite der Eintrittsoberfläche ist, und die Bedingung

$$(d_1/2)(D/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

erfüllt ist.

7. Optischer Integrierer des Wellenfrontunterteilungstyps, der eine Anzahl an zweidimensional angeordneten Mikrooptikelementen aufweist, um eine Anzahl an Lichtquellen durch Unterteilung einer Wellenfront eines einfallenden Lichtstrahls auszubilden;

wobei jedes Mikrooptikelement eine kreisförmige Eintrittsoberfläche mit einem Durchmesser von  $d$  oder eine regelmäßig sechseckige Eintrittsoberfläche aufweist, die von einem Kreis mit dem Durchmesser von  $d$  umschrieben wird, und folgende Bedingung erfüllt:

$$(d/2)/(\lambda \cdot f) \geq 3,05$$

wobei  $f$  die Brennweite jedes der Mikrooptikelemente ist, und  $\lambda$  die Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls.

8. Optischer Integrierer nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrooptikelement eine Mikrolinse aufweist.

9. Optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer zu beleuchtenden Oberfläche mit einem Lichtstrahl von einer Lichtquelle, wobei die optische Beleuchtungseinrichtung aufweist:

den optischen Integrierer nach Anspruch 2, der in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zur Ausbildung einer Anzahl an Lichtquellen entsprechend einem Lichtstrahl von der Lichtquelle; und

ein Lichtführungsoptiksystem, das in einem optischen Weg zwischen dem optischen Integrierer und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zum Führen von Lichtstrahlen von einer Anzahl an Lichtquellen, die durch den optischen Integrierer ausgebildet werden, zu der zu beleuchtenden Oberfläche.

10. Optische Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Lichtführungsoptiksystem aufweist:

ein Kondensoroptiksystem, das in dem optischen Weg zwischen den optischen Integrierer und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zum Sammeln von Lichtstrahlen von einer Anzahl an Lichtquellen, die durch den optischen Integrierer ausgebildet werden, um durch Überlagerung ein Beleuchtungsgebiet auszubilden;

ein Bilderzeugungsoptiksystem, das in einem optischen Weg zwischen dem Kondensoroptiksystem und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zur Ausbildung eines Bildes des Beleuchtungsgebietes in der Nähe der zu beleuchtenden Oberfläche entsprechend einem Lichtstrahl von dem Beleuchtungsgebiet.

11. Optische Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Lichtführungsoptiksystem aufweist:

eine in einem optischen Weg des Bilderzeugungsoptiksystems an einer im wesentlichen zu einer Position, an der die mehreren Lichtquellen ausgebildet werden, optisch konjugierten Position angeordnete Aperturblende, zum Abblök-

ken eines unerwünschten Strahls.

12. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Mikrolinsen in dem optischen Integrierer zumindest eine brechende Oberfläche aufweist, die eine asphärische Form aufweist, die symmetrisch zu einer Achse parallel zu einer optischen Bezugsachse ist.

13. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer eine Anzahl optischer Vereinigungssysteme aufweist, dessen optische Achsen jeweils Achsen parallel zu der optischen Bezugsachse sind, wobei zumindest eine asphärisch ausgebildete, brechende Oberfläche als vorbestimmte asphärische Oberfläche ausgebildet ist, um in vorteilhafter Weise das Auftreten von Koma in den optischen Vereinigungssystemen einzuschränken.

14. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Filter, welches eine vorbestimmte optische Transmissionsgradverteilung aufweist, in der Nähe des optischen Integrierers an dessen Eintrittsseite angeordnet ist, um Ungleichförmigkeiten der Leuchtdichte auf der zu beleuchtenden Oberfläche zu korrigieren; und ein Positionieruntersystem, das mit dem optischen Integrierer und dem Filter verbunden ist, vorgesehen ist, um den optischen Integrierer und das Filter in Bezug aufeinander zu positionieren.

15. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Irisblende, die so ausgebildet ist, daß die Größe eines Öffnungsabschnitts geändert werden kann, neben der Austrittsoberfläche des optischen Integrierers angeordnet ist.

16. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer zumindest zwei Optikelementbündel aufweist, die entlang der optischen Bezugsachse mit einem Spalt dazwischen angeordnet sind, wobei zumindest zwei der Optikelementbündel die asphärische optische Oberfläche aufweisen.

17. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest zwei der Optikelementbündel eine Anzahl optischer Vereinigungssysteme aufweist, die jeweils zumindest zwei Mikrooptikelemente enthalten, die einander entlang der Achse entsprechen, wobei sämtliche optischen Oberflächen in den Vereinigungssystemen als asphärische Oberflächen ausgebildet sind, die gleiche Eigenschaften aufweisen.

18. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß ein Positionieruntersystem vorgesehen ist, das mit zumindest zweien der Optikelementbündel verbunden ist, um zumindest zwei der Optikelementbündel in Bezug aufeinander zu positionieren.

19. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer zumindest 1000 Achsen aufweist.

20. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung aufweist, die in dem optischen Weg zwischen dem optischen Integrierer und der Lichtquelle angeordnet ist, an einer Position, die optisch konjugiert zu der zu beleuchtenden Oberfläche ist, oder in der Nähe dieser Position, zur Vergrößerung der Lichtquellenbilder.

21. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß ein Divergenzwinkel eines Lichtstrahls infolge der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung so festgelegt ist, daß kein Verlust an Beleuchtungslicht in dem optischen Integrierer auftritt.

22. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweist, die zweidimensional angeordnet sind, und jeweils das Lichtquellenbild ausbilden; wobei die Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung das Lichtquellenbild vergrößert, das durch die Linsenoberfläche ausgebildet wird; und der Divergenzwinkel der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung so eingestellt ist, daß das vergrößerte Lichtquellenbild kleiner als die Linsenoberfläche ist.

23. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweist, die zweidimensional angeordnet sind, und die jeweils das Lichtquellenbild ausbilden.

24. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine im wesentlichen gleichförmige Leuchtdichteverteilung im Nahfeld der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung ausgebildet wird.

25. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß nur ein Muster im Fernfeld der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung ausgebildet wird.

26. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Fernfeldmuster der Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung kreisförmig, elliptisch, oder mehrreckig ist.

27. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß es an einer Pupille der optischen Beleuchtungseinrichtung eine Sekundärlichtquelle ausbildet, die eine optische Intensitätsverteilung aufweist, bei welcher die optische Intensität in einem Pupillenzentrumsbereich einschließlich einer optischen Achse in einem Bereich auf der Pupille niedriger gewählt ist als in einem Bereich, welcher den Pupillenzentrumsbereich umgibt.

28. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin ein optisches Beugungselement vorgesehen ist, das in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um die optische Intensitätsverteilung der Sekundärlichtquelle zu steuern.

29. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 28, welches eine Blockiervorrichtung für die nullte Ordnung aufweist, die in einem optischen Weg zwischen dem optischen Beugungselement und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um Licht nullter Ordnung von dem optischen Beugungselement zu blockieren.

30. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweist, die zweidimensional angeordnet sind, sowie ein eintrittsseitiges Deckglas, das an der Eintrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, wobei das eintrittsseitige Deckglas mit der Blockiervorrichtung für Licht nullter Ordnung versehen ist.

31. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquellenbildvergrößerungsvorrichtung ein optisches Beugungselement oder einen Diffusor aufweist.

32. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß ein Reflexionsverhinderungs-



film in Bezug auf die Wellenlänge des Beleuchtungslichts auf einer Oberfläche des optischen Beugungselements oder des Diffusors angeordnet ist.

33. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweist, die zweidimensional angeordnet sind, und ein austrittsseitiges Deckglas, das an der Austrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, wobei das austrittsseitige Deckglas mit einem Lichtabschirmteil versehen ist, um Licht zu blockieren, das durch einen Bereich hindurchgeht, der sich von den mehreren Linsenoberflächen unterscheidet, und zwar zu der zu beleuchtenden Oberfläche.

34. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mikrofliegenaugenlinse vorgesehen ist, die in dem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist,

wobei die Mikrofliegenaugenlinse ein Substrat aufweist, das mit einer Oberfläche versehen ist, die mehrere Linsenoberflächen aufweist,

wobei die Linsenoberflächen der Mikrofliegenaugenlinse und diese selbst mit einem Reflexionsverhinderungsfilm in Bezug auf das Beleuchtungslicht versehen sind.

35. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Leuchtdichteverteilungskorrekturvorrichtung vorgesehen ist, die zwischen der Lichtquellenvorrichtung und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um jeweilige Intensitätsverteilungen Fourier-transformierter Bilder der mehreren Lichtquellenbilder unabhängig voneinander zu steuern.

36. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Integrierer mehrere Linsenoberflächen aufweist, die zweidimensional angeordnet sind, ein eintrittsseitiges Deckglas, das an der Eintrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, sowie ein austrittsseitiges Deckglas, das an der Austrittsseite der mehreren Linsenoberflächen angeordnet ist, wobei die Leuchtdichteverteilungskorrekturvorrichtung in einem optischen Weg zwischen dem eintrittsseitigen Deckglas und dem austrittsseitigen Deckglas angeordnet ist.

37. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Beleuchtungseinrichtung eine Beleuchtungsfläche auf der zu beleuchtenden Oberfläche ausbildet, wobei der Beleuchtungsbereich eine Form aufweist, dessen Länge in einer vorbestimmten Richtung sich von der Länge in einer Richtung orthogonal zu der vorbestimmten Richtung unterscheidet.

38. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflexionsverhinderungsfilm zumindest ein Bestandteil aufweist, welches ausgesucht ist aus: Aluminiumfluorid; Bariumfluorid; Calciumfluorid; Cerfluorid; Cäsiumfluorid; Erbiumfluorid; Gadoliniumfluorid; Hafniumfluorid; Lanthanfluorid; Lithiumfluorid; Magnesiumfluorid; Natriumfluorid; Cryolit; Chiolit; Neodymfluorid; Bleifluorid; Scandiumfluorid; Strontiumfluorid; Terbiumfluorid; Thoriumfluorid; Yttriumfluorid; Ytterbiumfluorid; Samariumfluorid; Dysprosiumfluorid; Praseodymfluorid; Europiumfluorid; Holmiumfluorid; Wismuttrifluorid; einem Fluorharz, welches zumindest ein Material aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die besteht aus Polytetrafluorethylen, Polychlorotrifluorethylen, Polyvinylfluorid, fluoriertem Ethylenpropylenharz, Polyvinylidenfluorid, und Polyacetal; Aluminiumoxid; Siliziumoxid; Germaniumoxid; Zirkonoxid; Titanoxid; Tantaloxid; Nioboxid; Hafniumoxid; Ceroxid; Magnesiumoxid; Neodymoxid; Gadoliniumoxid; Thoriumoxid; Yttriumoxid; Scandiumoxid; Lanthanoxid; Praseodymoxid; Zinkoxid; Bleioxid; einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Siliziumoxiden ausgewählt sind; einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Hafniumoxiden ausgewählt ist; und einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

39. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle Beleuchtungslicht mit einer Wellenlänge von 200 nm oder weniger liefert.

40. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Beugungselement oder das Mikrofliegenauge Silikatglas aufweist, welches mit Fluor dotiert ist.

41. Optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer zu beleuchtenden Oberfläche mit einem Lichtstrahl von einer Lichtquelle, mit

mehreren optischen Elementen, die in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet sind, und

einem Positionieruntersystem, das mit dem zumindest einen optischen Element verbunden ist, um das zumindest eine optische Element optisch zu positionieren.

42. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß das zumindest eine optische Element mehrere zweidimensional angeordnete Oberflächen aufweist.

43. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß ein Positionieruntersystem die zweidimensional angeordneten Oberflächen und ein anderes optisches Element unter den mehreren optischen Elementen einstellt.

44. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß das Positionieruntersystem optisch zumindest eines von optischen Elementen einstellt.

45. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß das Positionieruntersystem außerhalb des optischen Weges zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist.

46. Optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer zu beleuchtenden Oberfläche mit Beleuchtungslicht von einer Lichtquelle,

wobei die Einrichtung eine Mikrofliegenaugenlinse aufweist, die in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, und ein Substrat mit einer Oberfläche aufweist, welche mehrere Linsenoberflächen hat;

und ein Kondensoroptiksystem aufweist, das in einem optischen Weg zwischen der Mikrofliegenaugenlinse und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, um einen Lichtstrahl von der Mikrofliegenaugenlinse zu der beleuch-



tenden Oberfläche zu führen, wobei die Linsenoberflächen der Mikrofliegenaugenlinse mit einem Reflexionsverhinderungsfilm in Bezug auf das Beleuchtungslicht versehen sind.

47. Optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer zu beleuchtenden Oberfläche mit Beleuchtungslicht von einer Lichtquelle, wobei die Einrichtung aufweist:

eine Mikrofliegenaugenlinse, das in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, und ein Substrat mit einer Oberfläche aufweist, die mit mehreren Linsenoberflächen versehen ist;

ein Kondensoroptiksystem, das in einem optischen Weg zwischen der Mikrofliegenaugenlinse und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, zum Führen eines Lichtstrahls von der Mikrofliegenaugenlinse zu der beleuchtenden Oberfläche;

und ein austrittsseitiges Schutzteil, das in einem optischen Weg zwischen der Mikrofliegenaugenlinse und dem Kondensoroptiksystem vorgesehen ist, und aus einem Material besteht, das für das Beleuchtungslicht durchlässig ist, wobei das austrittsseitige Schutzteil ein Lichtabschirmteil aufweist, das in dem austrittsseitigen Schutzteil vorgesehen ist, um Licht zu blockieren, das durch einen Bereich hindurchgegangen ist, der sich von den mehreren Linsenoberflächen der Mikrofliegenaugenlinse unterscheidet, und zwar zu der zu beleuchtenden Oberfläche.

48. Optische Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch dadurch gekennzeichnet, daß ein eintrittsseitiges Deckglas vorgesehen ist, das im optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der Mikrofliegenaugenlinse angeordnet ist.

49. Optische Beleuchtungseinrichtung, die so ausgebildet ist, daß sie mit einer Photolithographie-Belichtungseinrichtung kombiniert werden kann, die ein optisches Projektionssystem aufweist, durch welches ein Bild eines Musters auf einer ersten Oberfläche auf eine zweite Oberfläche übertragen wird, um die erste Oberfläche mit einem Lichtstrahl von einer Lichtquelle zu beleuchten, wobei die optische Beleuchtungseinrichtung aufweist:

eine Überlagerungsvorrichtung für mehrere Lichtstrahlen, die zwischen der Lichtquelle und der ersten Oberfläche angeordnet ist, um den Lichtstrahl von der Lichtquelle zu unterteilen, und die so unterteilte Anzahl an Lichtstrahlen auf einem Beleuchtungsgebiet zu überlagern, welches einen Bereich auf einer vorbestimmten Oberfläche darstellt; und

ein Beleuchtungsbildausbildungsoptiksystem, das zwischen der Überlagerungsvorrichtung für mehrere Lichtstrahlen und der ersten Oberfläche angeordnet ist, um ein Bild des Beleuchtungsgebiets auf der ersten Oberfläche oder in deren Nähe zu erzeugen,

wobei das Beleuchtungsbildzeugungsoptiksystem eine Aperturblende aufweist, die an einer Position angeordnet ist, die optisch konjugiert zu einer Pupille des optischen Projektionssystems ist.

50. Optische Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Aperturblende nur unnötiges Licht abblockt, welches sonst eine Blendung hervorrufen würde.

51. Belichtungseinrichtung zum Projizieren eines Musters einer Maske auf ein lichtempfindliches Substrat, wobei die Belichtungseinrichtung die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß Anspruch 9 aufweist, und die zu beleuchtende Oberfläche auf dem lichtempfindlichen Substrat eingestellt ist.

52. Belichtungseinrichtung zur Übertragung eines Musters auf einer ersten Oberfläche auf eine zweite Oberfläche, wobei die Belichtungseinrichtung aufweist:

eine optische Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 12 zur Beleuchtung der ersten Oberfläche; und eine Belichtungsprojektionseinrichtung, die auf einem optischen Weg zwischen der ersten Oberfläche und der zweiten Oberfläche angeordnet ist, um das Muster auf die zweite Oberfläche zu projizieren,

wobei die optische Beleuchtungseinrichtung weiterhin eine Änderungsvorrichtung für die optische Intensitätsverteilung aufweist, die in dem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und dem optischen Integrierer angeordnet ist, um die optische Intensitätsverteilung eines Lichtstrahls zu ändern, der auf den optischen Integrierer einfällt.

53. Belichtungseinrichtung zur Beleuchtung einer Maske, die mit einem Muster versehen ist, mit Beleuchtungslicht in einem vorbestimmten Wellenlängenbereich, um so ein Bild des Musters auf einem Substrat mit Hilfe eines optischen Projektionssystems auszubilden, wobei die Belichtungseinrichtung die optische Beleuchtungseinrichtung gemäß Anspruch 20 zum Liefern des Beleuchtungslichtes an die Maske aufweist.

54. Belichtungseinrichtung nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, daß eine Beleuchtungsfläche auf der Maske eine Form aufweist, deren Länge in einer vorbestimmten Richtung sich von der Länge in Richtung orthogonal zu der vorbestimmten Richtung unterscheidet und die Belichtung durchgeführt wird, während eine Relativbeziehung zwischen der Maske und der Beleuchtungsfläche geändert wird.

55. Belichtungsverfahren, bei welchem eine mit einem Muster versehene Maske mit Beleuchtungslicht in einem vorbestimmten Wellenlängenbereich beleuchtet wird, um so ein Bild des Musters auf einem Substrat über ein optisches Projektionssystem auszubilden, wobei das Beleuchtungslicht der Maske unter Verwendung der optischen Beleuchtungseinrichtung gemäß Anspruch 20 zugeführt wird.

56. Beobachtungseinrichtung zur Erzeugung eines Bildes eines zu beobachtenden Objektes, wobei die Einrichtung aufweist:

die optische Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 9 zur Beleuchtung des zu beobachtenden Objekts; und ein Bilderzeugungsoptiksystem, das zwischen dem zu beobachtenden Objekt und dem Bild angeordnet ist, um ein Bild des zu beobachtenden Objektes entsprechend Licht auszubilden, das sich über das zu beobachtende Objekt ausgebreitet hat.

57. Optische Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer zu beleuchtenden Oberfläche mit Beleuchtungslicht von einer Lichtquelle,

wobei die optische Beleuchtungseinrichtung einen optischen Integrierer aufweist, der in einem optischen Weg zwischen der Lichtquelle und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet ist, um eine Sekundärlichtquelle entsprechend einem Lichtstrahl von der Lichtquelle auszubilden;

ein Kondensoroptiksystem, das zwischen dem optischen Integrierer und der zu beleuchtenden Oberfläche angeordnet

net ist, um einen Lichtstrahl von dem optischen Integrierer zu der zu beleuchtenden Oberfläche zu führen, und wobei eine Oberfläche des optischen Beugungselements mit einem Reflexionsverhinderungsfilm in Bezug auf das Beleuchtungslicht versehen ist.

58. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 57, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflexionsverhinderungsfilm zumindest ein Bestandteil aufweist, welches ausgesucht ist aus: Aluminiumfluorid; Bariumfluorid; Calciumfluorid; Cerfluorid; Cäsiumfluorid; Erbiumfluorid; Gadoliniumfluorid; Hafniumfluorid; Lanthanfluorid; Lithiumfluorid; Magnesiumfluorid; Natriumfluorid; Cryolit; Chiolit; Neodymfluorid; Bleifluorid; Scandiumfluorid; Strontiumfluorid; Terbiumfluorid; Thoriumfluorid; Yttriumfluorid; Ytterbiumfluorid; Samariumfluorid; Dysprosiumfluorid; Praseodymfluorid; Europiumfluorid; Holmiumfluorid; Wismuttrifluorid; einem Fluorharz, welches zumindest ein Material aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die besteht aus Polytetrafluorethylen, Polychlorotrifluorethylen, Polyvinylfluorid, fluoriertem Ethylenpropylenharz, Polyvinylidenfluorid, und Polyacetal; Aluminiumoxid; Siliziumoxid; Germaniumoxid; Zirkonoxid; Titanoxid; Tantaloxid; Nioboxid; Hafniumoxid; Ceroxid; Magnesiumoxid; Neodymoxid; Gadoliniumoxid; Thoriumoxid; Yttriumoxid; Scandiumoxid; Lanthanoxid; Praseodymoxid; Zinkoxid; Bleioxid; einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Siliziumoxiden ausgewählt sind; einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Hafniumoxiden ausgewählt ist; und einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

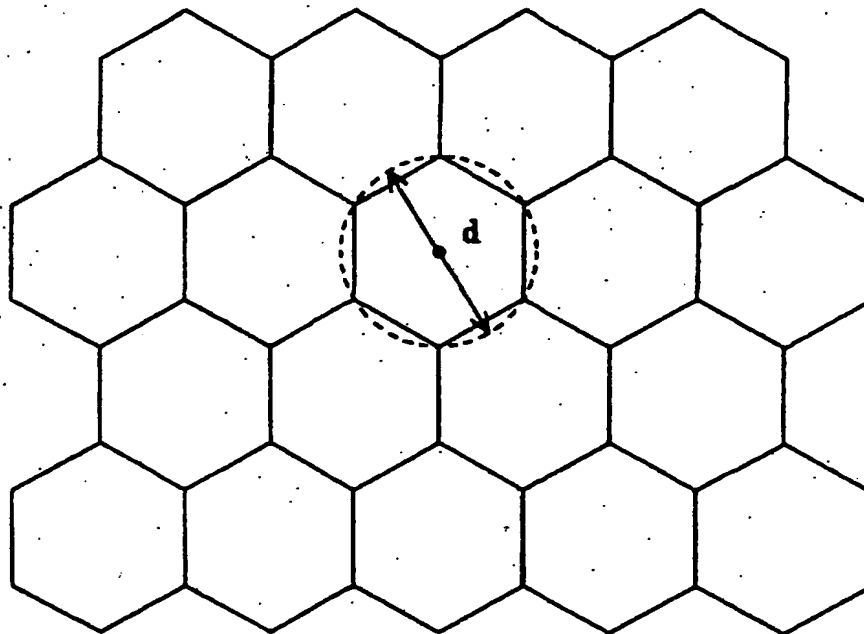
59. Optisches Beleuchtungssystem nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflexionsverhinderungsfilm zumindest einen Bestandteil aufweist, der ausgewählt ist aus: Aluminiumfluorid; Bariumfluorid; Calciumfluorid; Cerfluorid; Cäsiumfluorid; Erbiumfluorid; Gadoliniumfluorid; Hafniumfluorid; Lanthanfluorid; Lithiumfluorid; Magnesiumfluorid; Natriumfluorid; Cryolit; Chiolit; Neodymfluorid; Bleifluorid; Scandiumfluorid; Strontiumfluorid; Terbiumfluorid; Thoriumfluorid; Yttriumfluorid; Ytterbiumfluorid; Samariumfluorid; Dysprosiumfluorid; Praseodymfluorid; Europiumfluorid; Holmiumfluorid; Wismuttrifluorid; einem Fluorharz, welches zumindest ein Material aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die besteht aus Polytetrafluorethylen, Polychlorotrifluorethylen, Polyvinylfluorid, fluoriertem Ethylenpropylenharz, Polyvinylidenfluorid, und Polyacetal; Aluminiumoxid; Siliziumoxid; Germaniumoxid; Zirkonoxid; Titanoxid; Tantaloxid; Nioboxid; Hafniumoxid; Ceroxid; Magnesiumoxid; Neodymoxid; Gadoliniumoxid; Thoriumoxid; Yttriumoxid; Scandiumoxid; Lanthanoxid; Praseodymoxid; Zinkoxid; Bleioxid; einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Siliziumoxiden ausgewählt sind; einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Hafniumoxiden ausgewählt ist; und einer Mischungsgruppe und einer Komplexverbindungsgruppe, die zumindest zwei Materialien aufweist, die aus der Gruppe von Aluminiumoxiden ausgewählt sind.

60. Optische Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Überlagerungsvorrichtung für die mehreren Lichtstrahlen eine Wellenfront des Lichtstrahls von der Lichtquelle unterteilt.

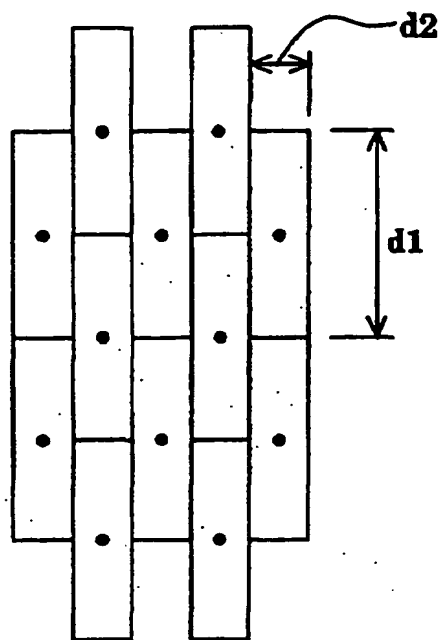
Hierzu 23 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

**Fig. 1**

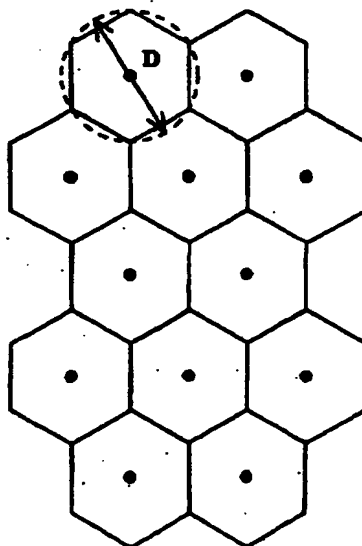


**Fig. 2A**



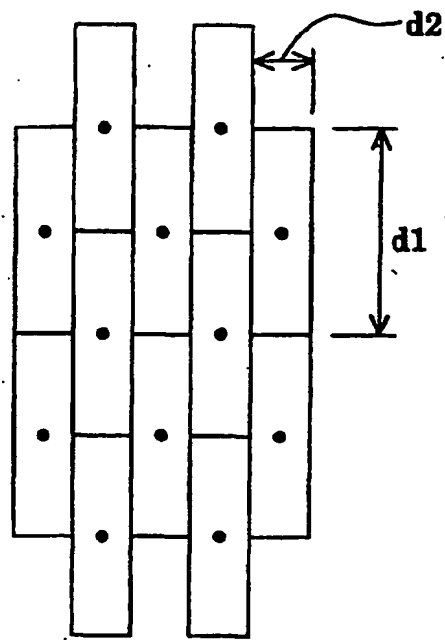
EINTRITTSOBERFLÄCHE

**Fig. 2B**



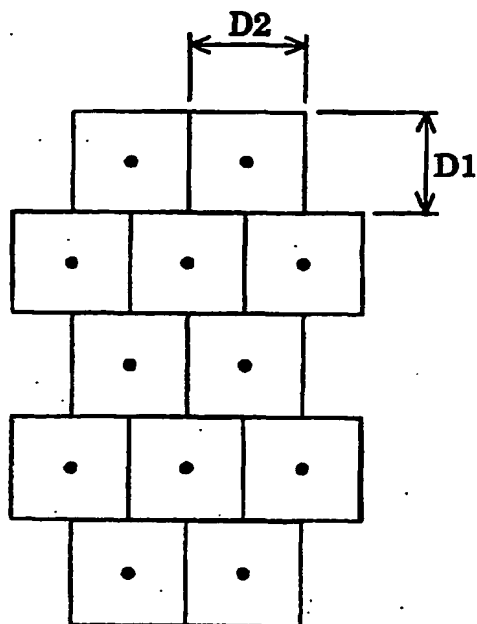
AUSTRITTSOBERFLÄCHE

**Fig.3A**



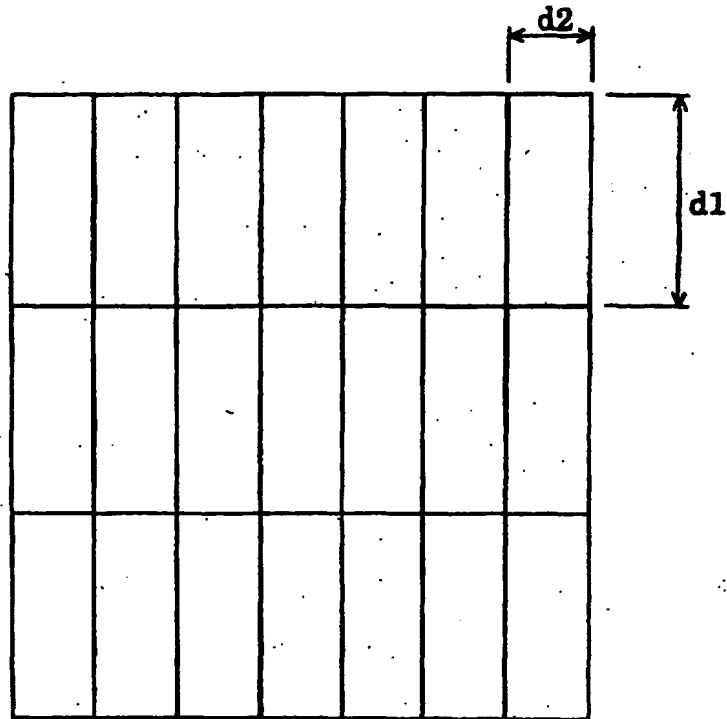
**EINTRITTSOBERFLÄCHE**

**Fig.3B**



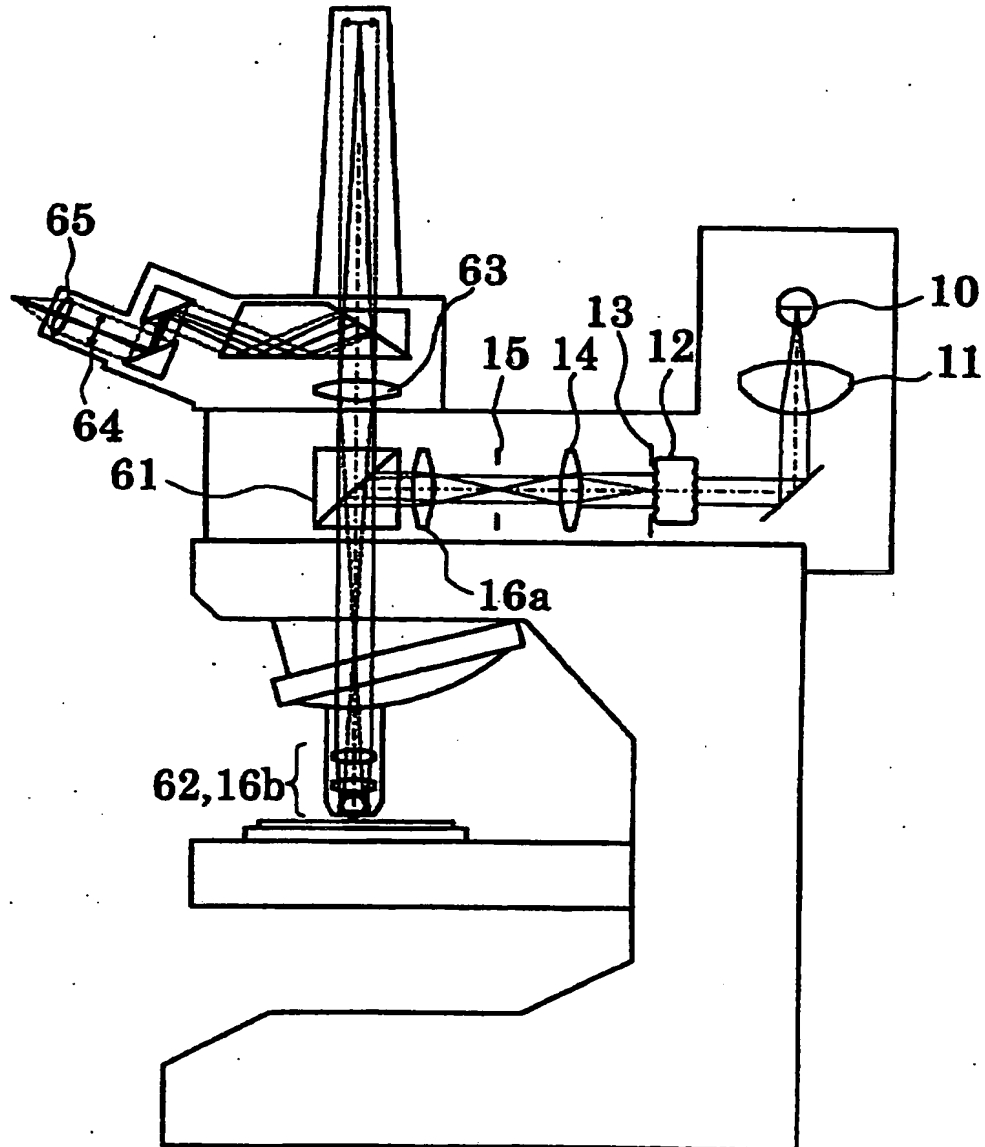
**AUSTRITTSOBERFLÄCHE**

**Fig.4**

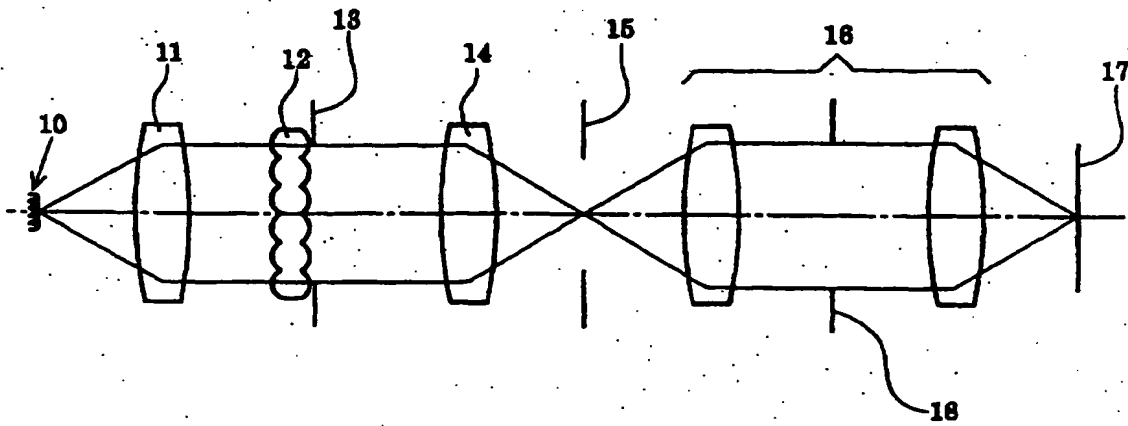




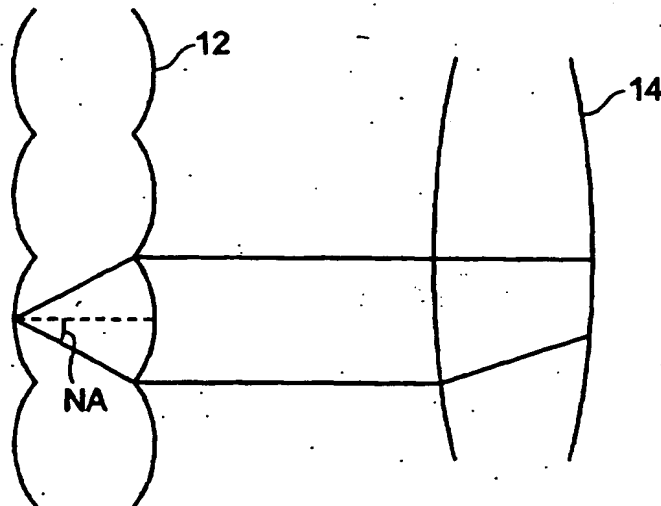
**Fig.5**



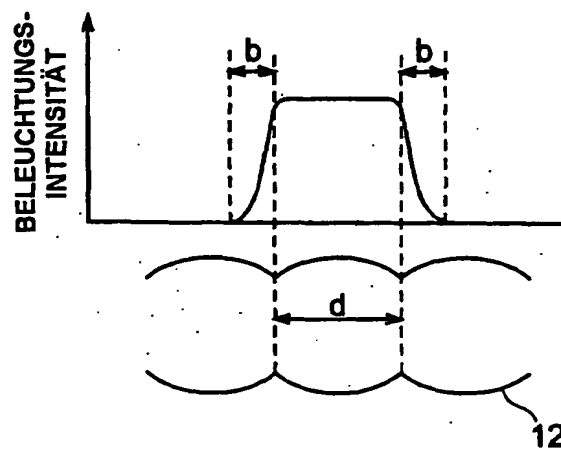
**Fig.6A**



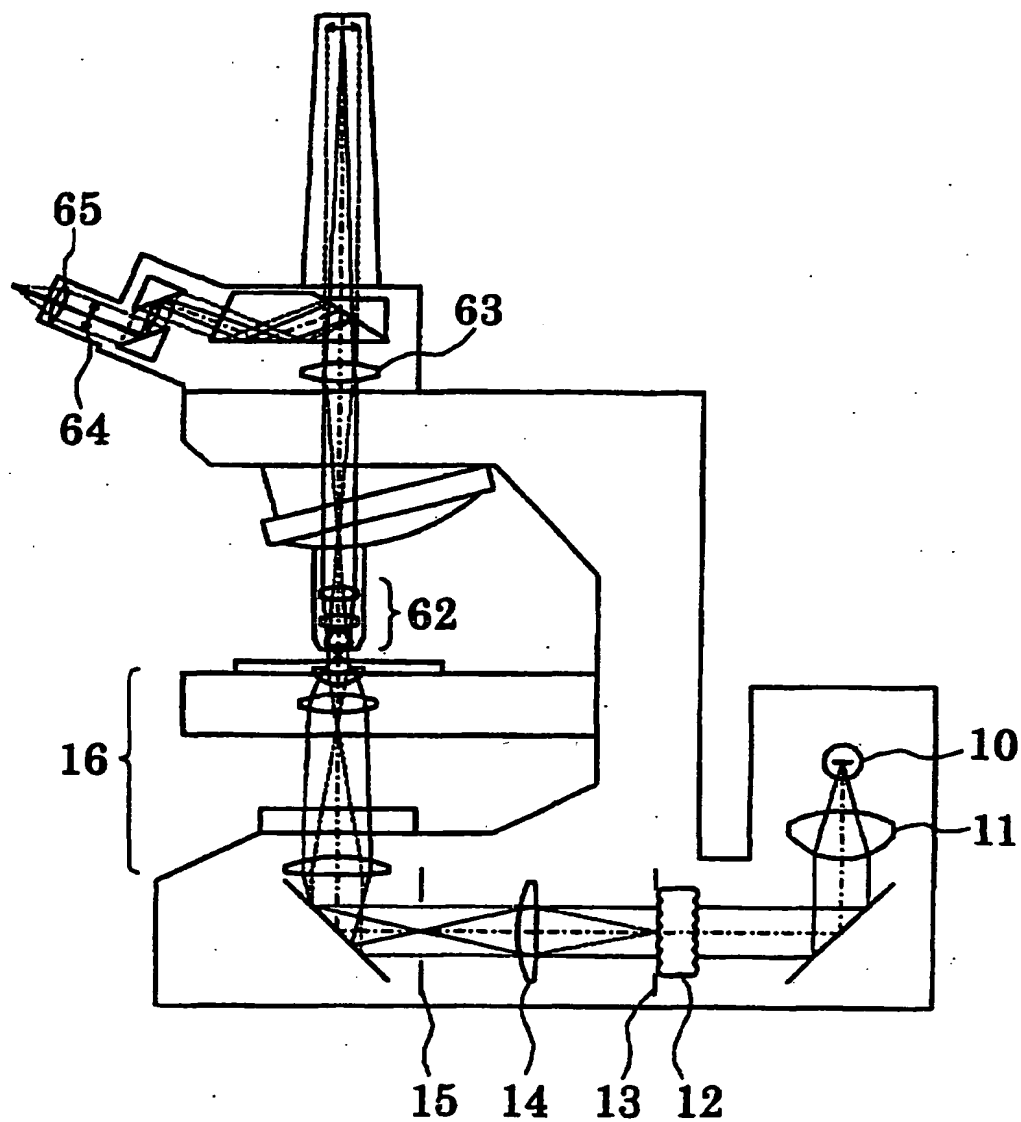
**Fig.6B**



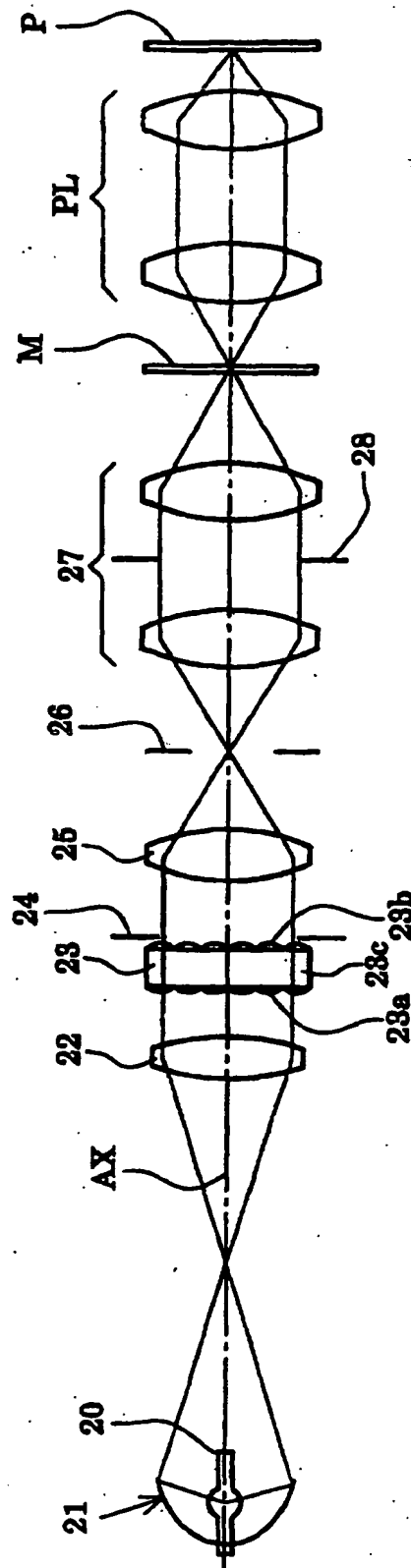
**Fig.6C**



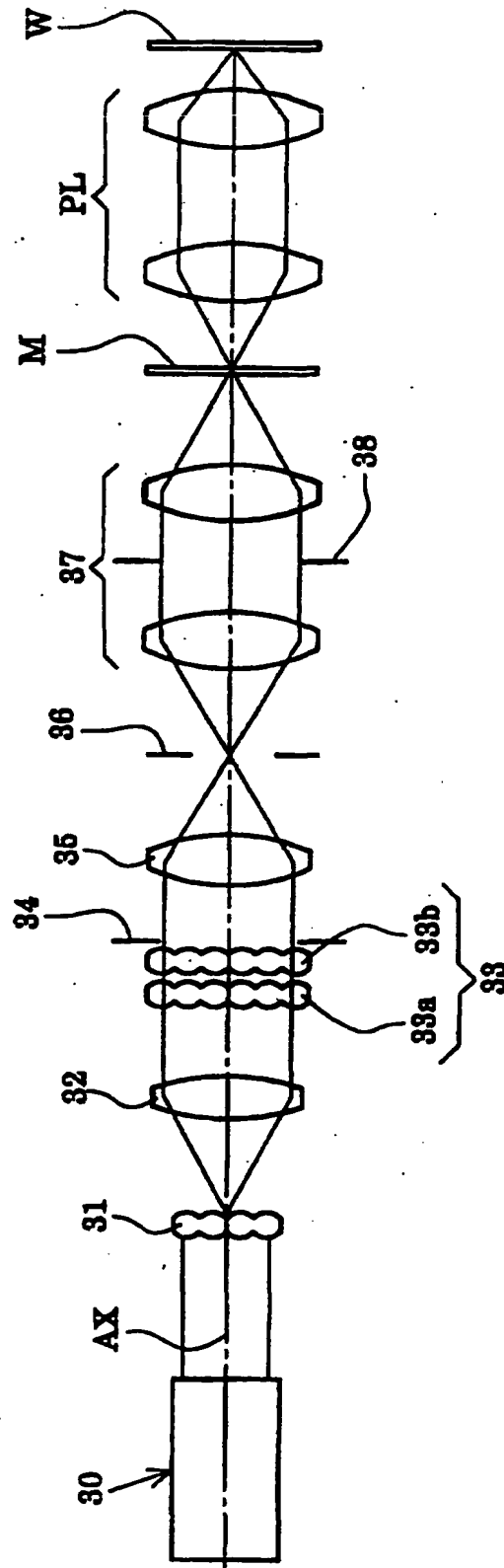
**Fig. 7**



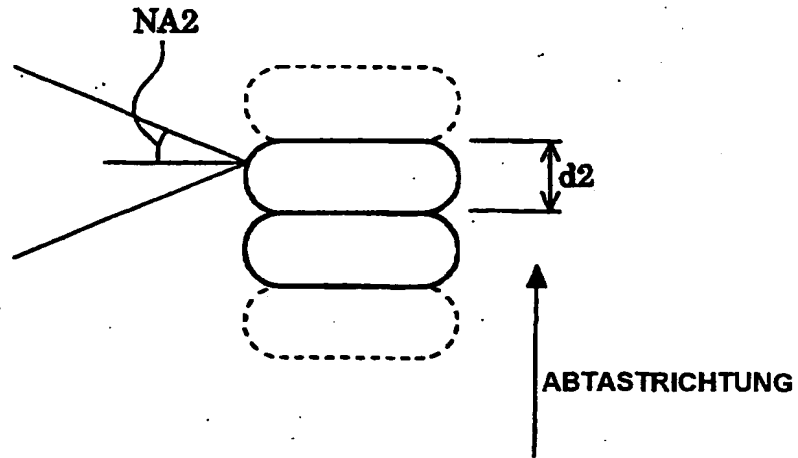
**Fig. 8**



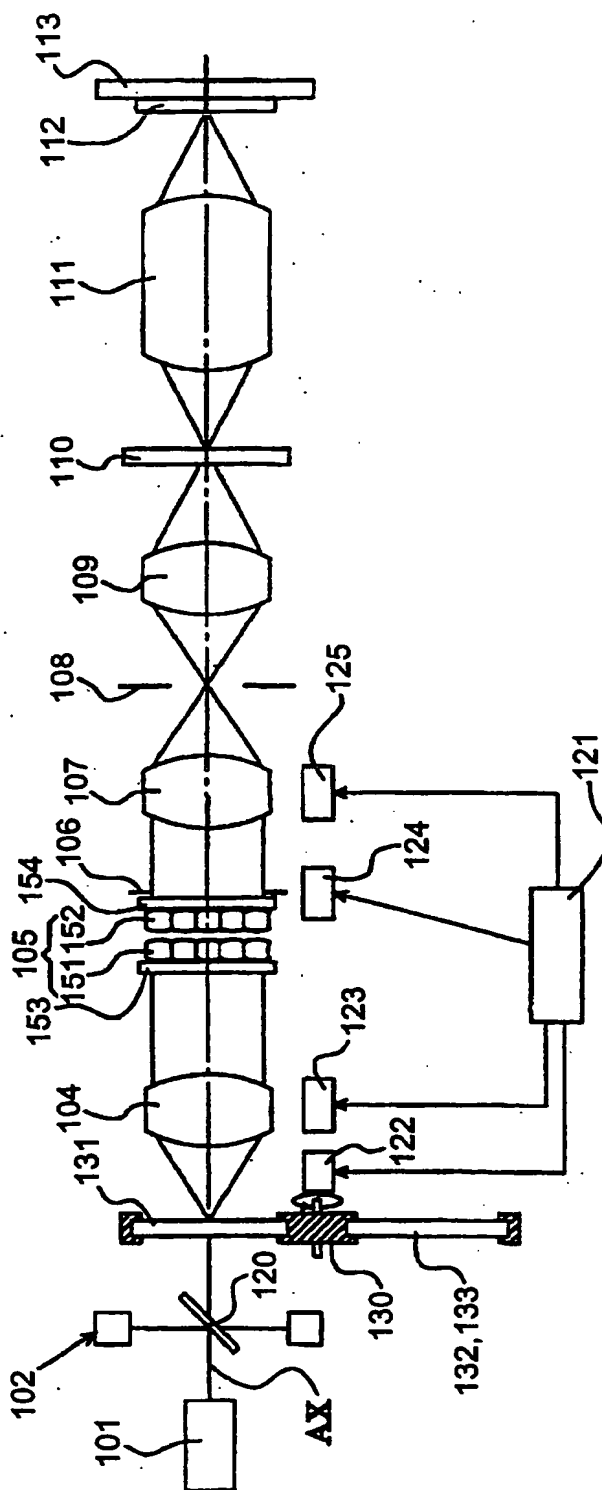
**Fig.9**



**Fig.10**

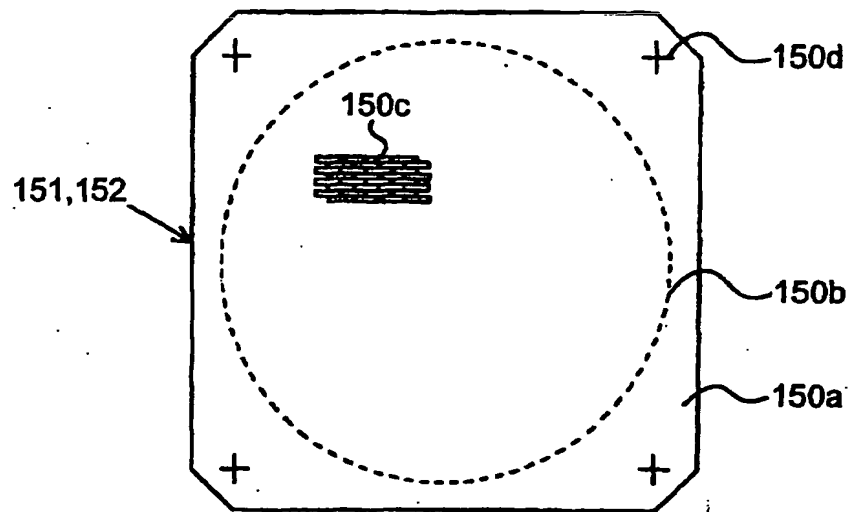


**Fig.11**

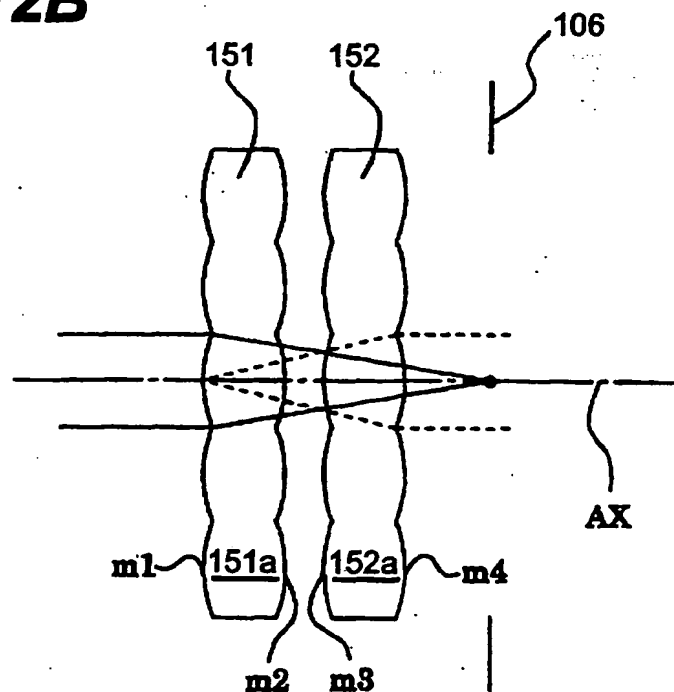




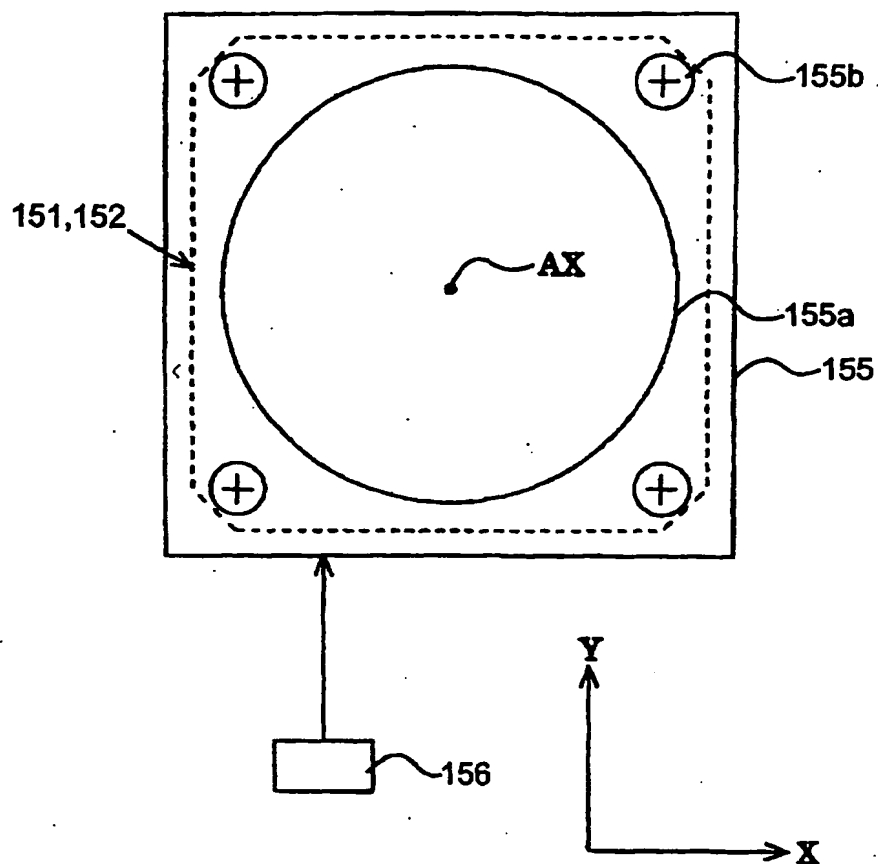
**Fig.12A**



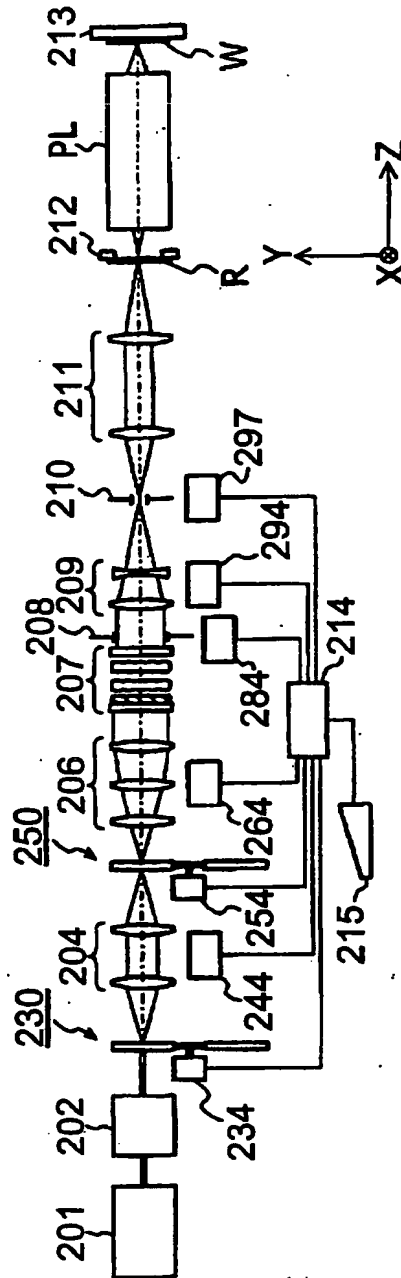
**Fig.12B**



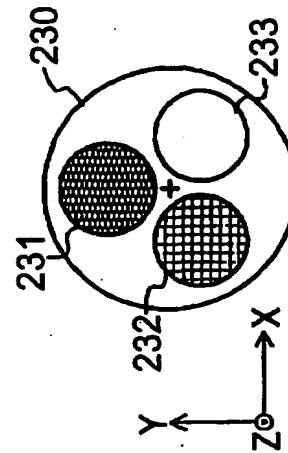
**Fig.13**



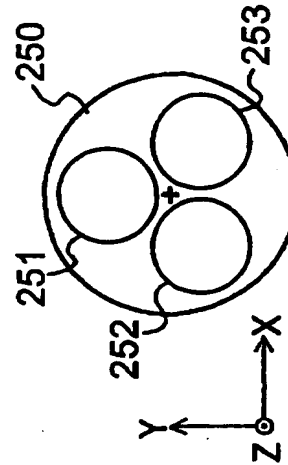
**Fig. 14A**



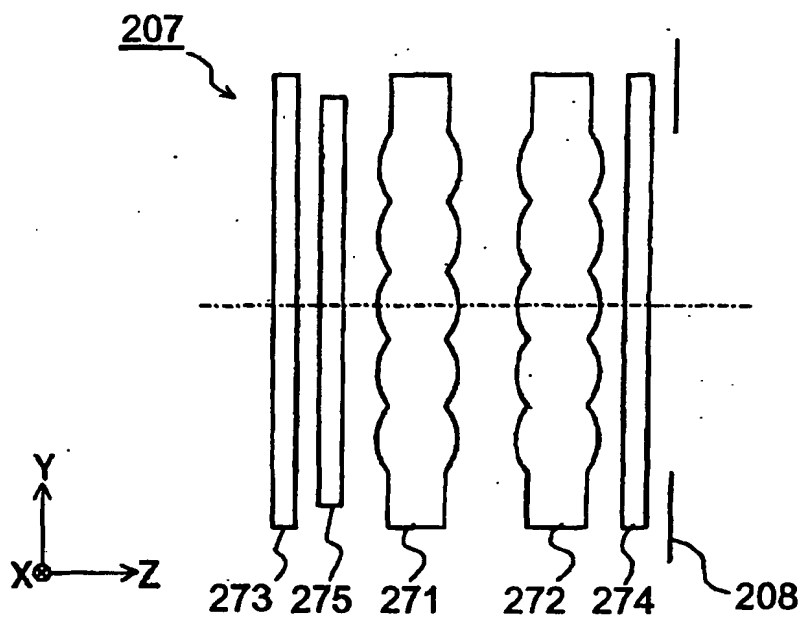
**Fig. 14B**



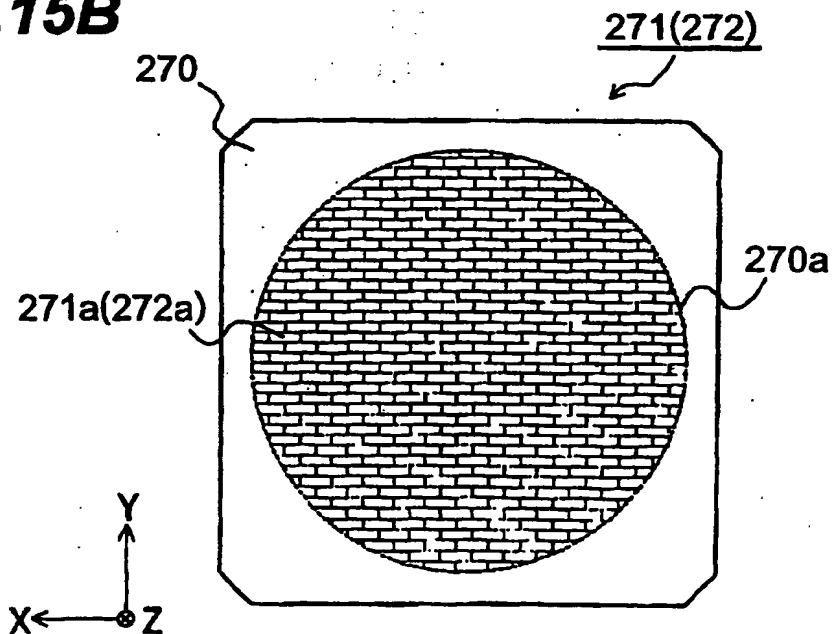
**Fig. 14C**



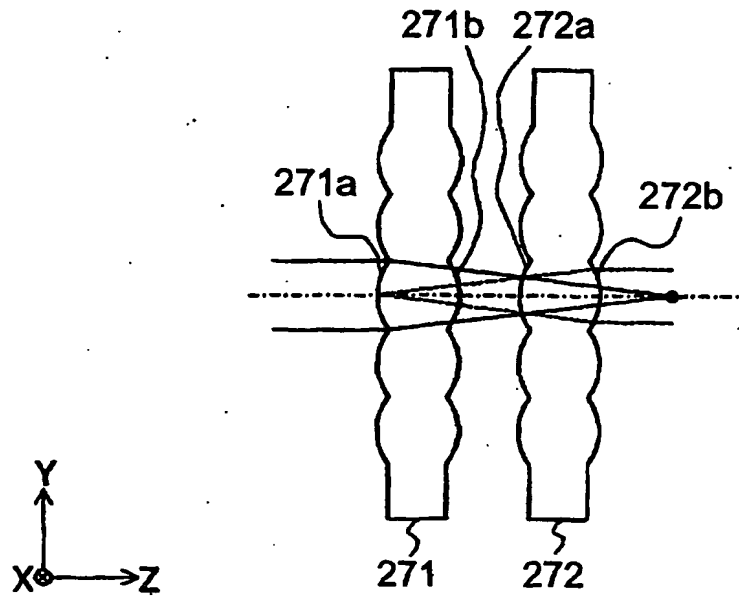
**Fig.15A**



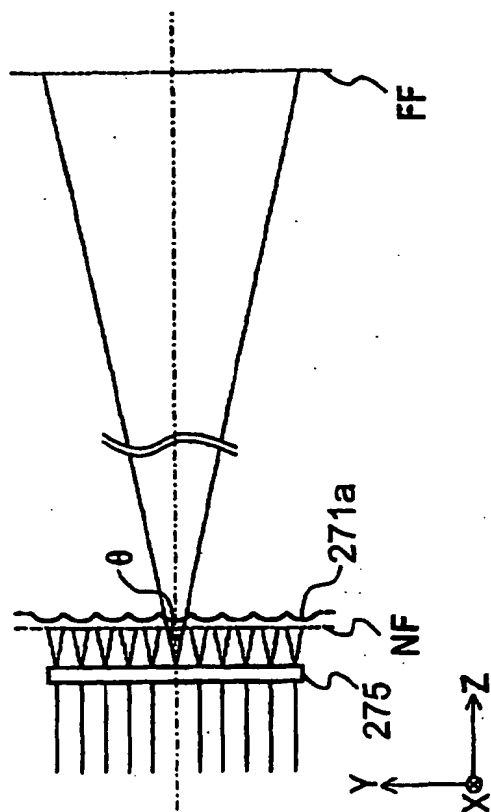
**Fig.15B**



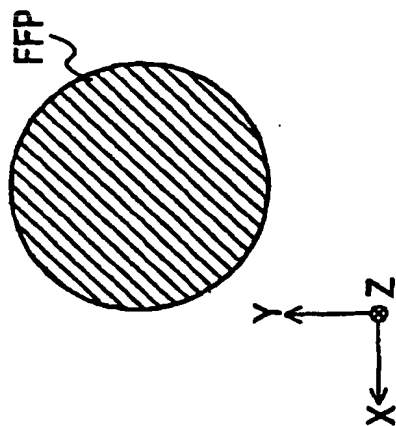
**Fig.16**



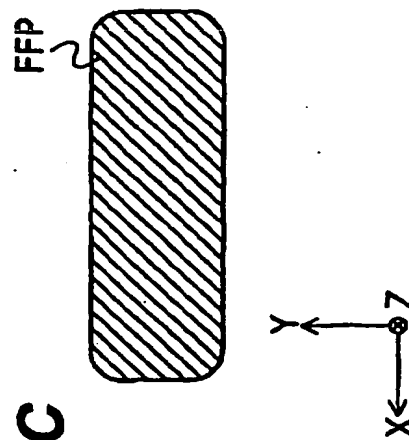
**Fig.17A**



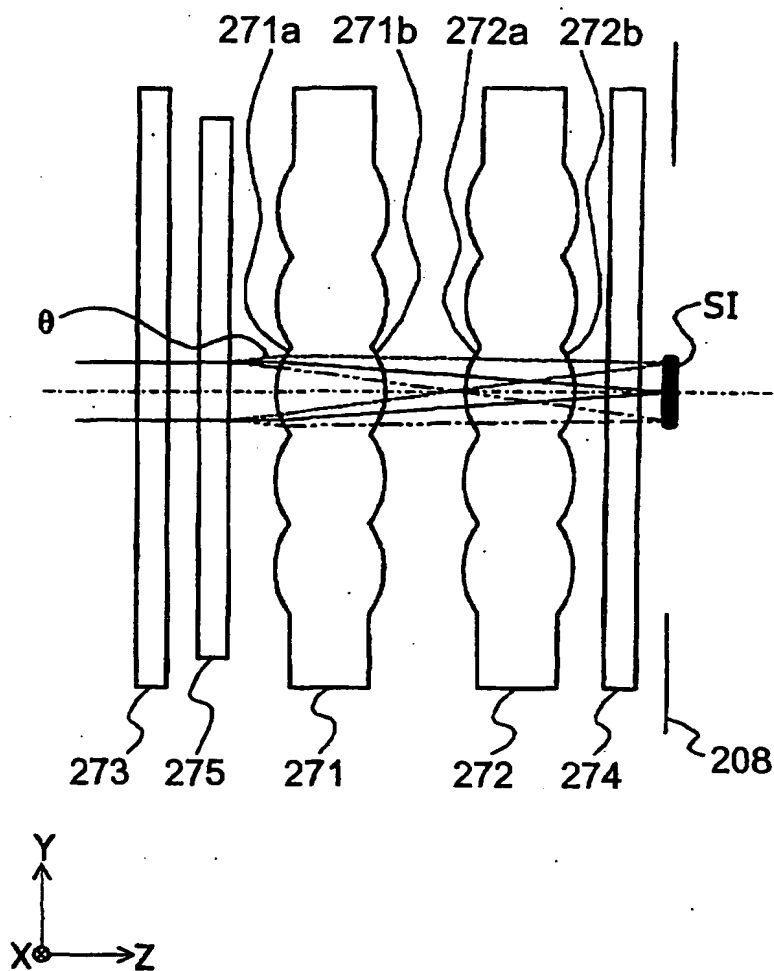
**Fig.17B**



**Fig.17C**

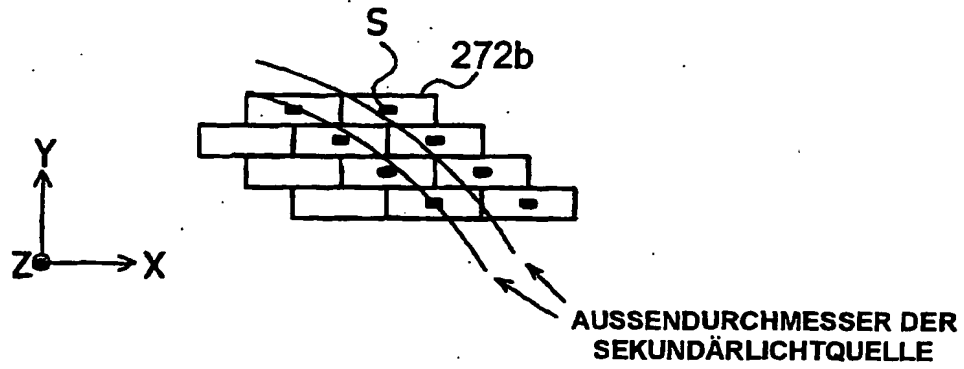


**Fig.18**

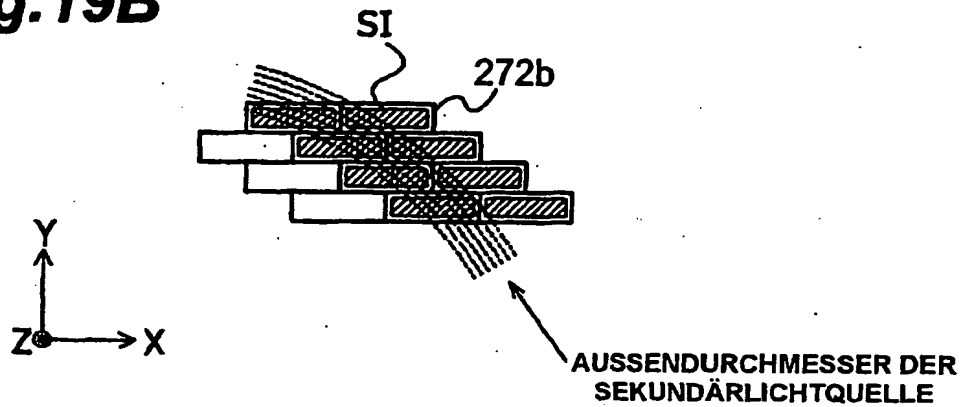




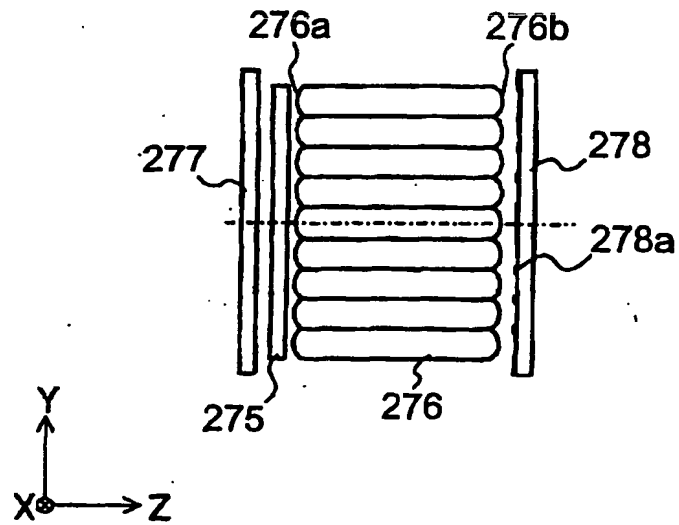
**Fig.19A**



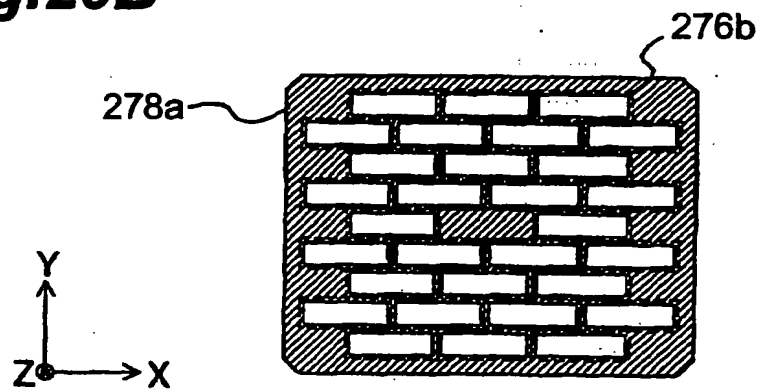
**Fig.19B**



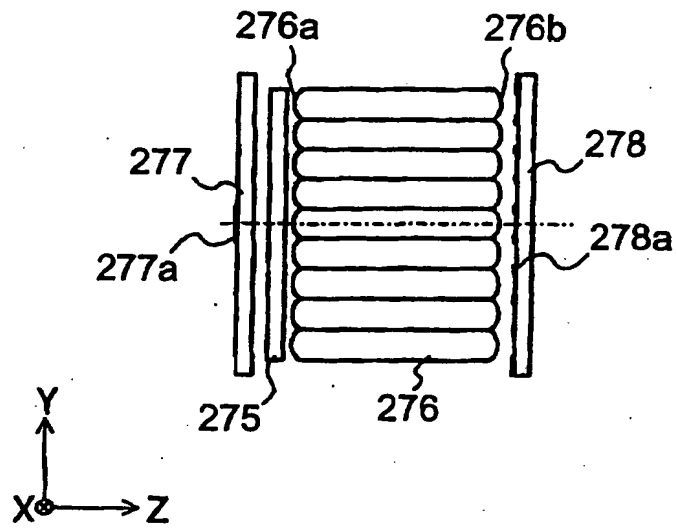
**Fig.20A**

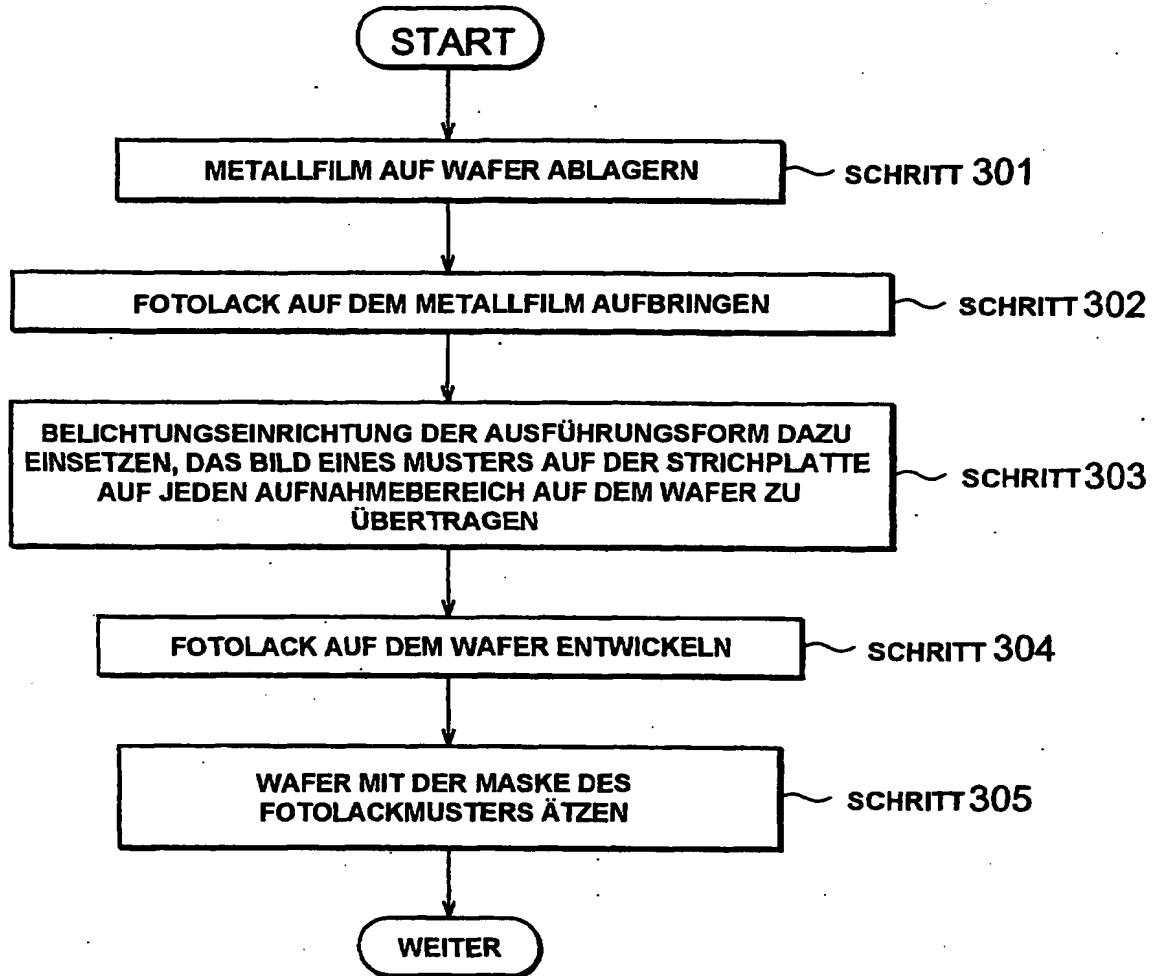


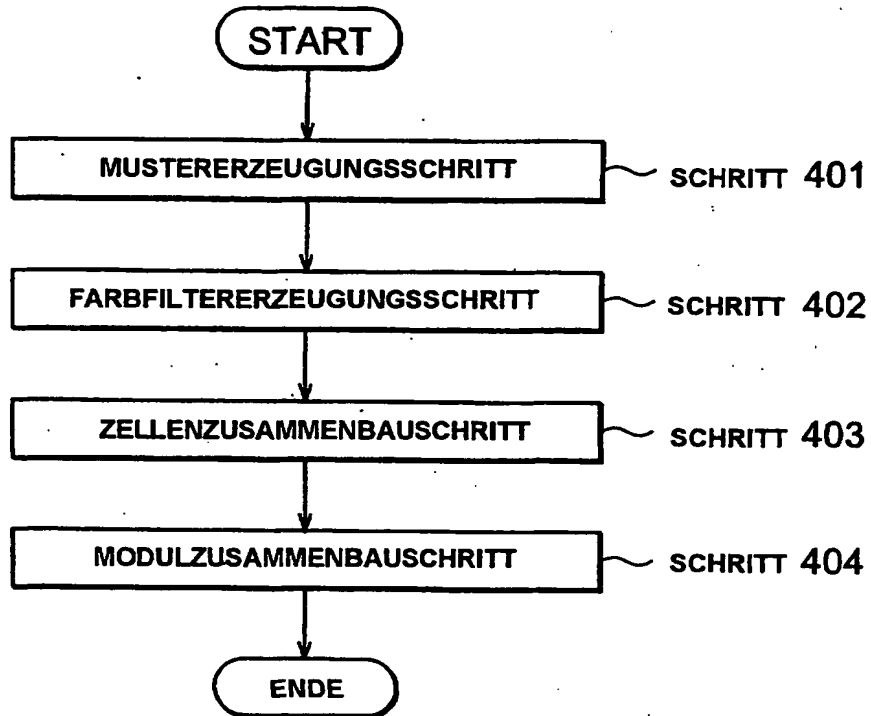
**Fig.20B**



**Fig. 21**



**Fig.22**

**Fig.23**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**